



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

선박의 안전 운항을 위한 국내 항만의 항로 여유  
수심에 관한 연구

A Study on Under Keel Clearance of Domestic Port'  
Fairway for Ship's Safe Passage



지도교수 이 윤 석

2017년 2월

한국해양대학교 대학원

해양경찰학과

류 원

본 논문을 류원의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 : 윤 귀 호 (인)

위 원 : 김 종 성 (인)

위 원 : 이 윤 석 (인)



2017년 02월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Table .....	iv
List of Figure .....	vi
Abstract .....	viii
Nomenclature .....	xi
Abbreviations .....	xii
제 1 장 서론 .....	1
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구 방법 및 내용 .....	2
1.3 선행연구 .....	3
제 2 장 국내외 항로 수심 설계기준 및 현황 .....	5
2.1 항만 설계기준 .....	5
2.1.1 국내 항만 설계기준 .....	6
2.1.1.1 항로 수심 기준 .....	6
2.1.1.2 선석 수심 기준 .....	7
2.1.2 국외 항만 설계기준 .....	11
2.1.2.1 일본의 항로 수심 기준 .....	12
2.1.2.2 미국의 항로 수심 기준 .....	12
2.1.2.3 PIANC의 항로 수심 기준 .....	13
2.2 국내 항만 수역 현황 .....	14
2.2.1 남동해 항만 .....	15
2.2.1.1 부산항 .....	15
2.2.1.2 울산항 .....	19
2.2.2 남해서안 항만 .....	22
2.2.2.1 여수 및 광양항 .....	22
2.2.3 서해안 항만 .....	26
2.2.3.1 인천항 .....	26
2.2.3.2 평택항 .....	30
2.3 여유수심(UKC) 부족에 의한 좌초사고 .....	31
2.3.1 Queen Elizabeth 2호 .....	31
2.3.1.1 사고 개요 .....	32
2.3.1.2 원인 분석 .....	33
2.3.2 Desh Rakshak호 .....	35
2.3.1.1 사고 개요 .....	35
2.3.1.2 원인 분석 .....	36
제 3 장 안전수심 확보를 위한 고려사항 .....	38



3.1 UKC 요소 .....	38
3.1.1 수심관련 요소 .....	38
3.1.2 선박 요소 .....	39
3.1.3 해저 요소 .....	40
3.1.4 계산 조건 .....	41
3.2 Squat의 공식과 특징 .....	42
3.2.1 Squat 공식 .....	42
3.2.2 Tuck 공식 .....	43
3.2.3 Huuska/Guliev 공식 .....	44
3.2.4 ICORELS 공식 .....	45
3.2.5 Barrass 공식 .....	46
3.2.6 Eryuzlu 공식 .....	48
3.2.7 Römisch 공식 .....	49
3.2.8 Yoshimura 공식 .....	51
 <b>제 4 장 국내 주요 항만의 항로 여유수심 적정성 평가 .....</b>	<b>53</b>
4.1 선박의 제원 .....	53
4.1.1 부산항 대상선박(18,000 TEU 컨테이너선) .....	53
4.1.2 울산항 및 여수항 대상선박(300,000 DWT급 탱커선) .....	54
4.1.3 광양항 대상선박(300,000 DWT급 벌크선) .....	54
4.1.4 인천항 및 평택항 대상선박(150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG) .....	55
4.2 선박의 Squat 계산 .....	56
4.2.1 부산항(18,000 TEU급 컨테이너) .....	58
4.2.1.1 항내 항로 계산 .....	60
4.2.1.2 접근 항로 계산 .....	64
4.2.2 울산항(300,000 DWT급 탱커) .....	67
4.2.2.1 접근 항로 계산 .....	69
4.2.3 여수항(300,000 DWT급 탱커) .....	71
4.2.3.1 항내 항로 계산 .....	73
4.2.3.2 접근 항로 계산 .....	75
4.2.4 광양항(300,000 DWT급 벌크선) .....	78
4.2.4.1 항내 항로 계산 .....	80
4.2.4.2 접근 항로 계산 .....	81
4.2.5 인천항(150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선) .....	83
4.2.5.1 항내 항로 계산 .....	85
4.2.5.2 접근 항로 계산 .....	87
4.2.6 평택항(150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선) .....	89
4.2.6.1 항내 항로 계산 .....	91
4.2.6.2 접근 항로 계산 .....	92
4.3 종합분석 .....	93

4.3.1 항만 설계기준과 현행 국내항만 수심 분석 .....	93
4.3.2 Squat 계산 결과분석 .....	95
제 5 장 결론 .....	98
참고문헌 .....	102



## List of Tables

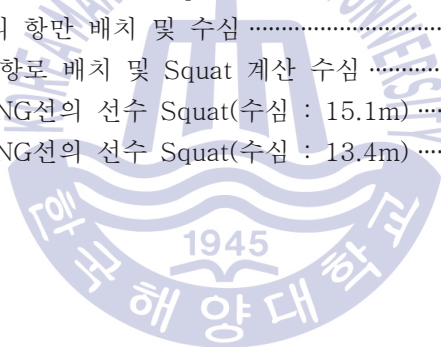
Table. 2.1 화물선 재화중량톤수에 따른 선석의 수심 .....	8
Table. 2.2 컨테이너선 재화중량톤수에 따른 선석의 수심 .....	8
Table. 2.3 유조선 재화중량톤수에 따른 선석의 수심 .....	9
Table. 2.4 150,000 DWT 선박들의 선석 수심 비교 .....	10
Table. 2.5 선석 수심 기준과 항내 항로 수심 기준의 비교 .....	10
Table. 2.6 일본 및 미국의 항만의 수심기준 .....	13
Table. 2.7 PIANC의 항만의 수심기준 .....	14
Table. 2.8 2015년 주요 항만 선박 입항 및 화물처리 실적 .....	14
Table. 2.9 부산항 시설현황 .....	15
Table. 2.10 부산 북항 및 신항 컨테이너 부두시설 .....	17
Table. 2.11 울산항 시설현황 .....	19
Table. 2.12 여수광양항 시설현황 .....	22
Table. 2.13 광양항 광양지역 일반부두 .....	23
Table. 2.14 인천항 용도별 부두현황 .....	27
Table. 2.15 평택항 돌핀 부두현황 .....	30
Table. 3.1 부산항 평균기압 및 평균풍속(1981~2010년) .....	41
Table. 3.2 UKC 구성 요소 중 계산 조건 .....	42
Table. 3.3 Squat 공식 및 제한조건 .....	52
Table. 4.1 18,000 TEU급 컨테이너선의 제원 .....	53
Table. 4.2 300,000 DWT급 탱커선의 제원 .....	54
Table. 4.3 300,000 DWT급 벌크선의 제원 .....	55
Table. 4.4 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 제원 .....	56
Table. 4.5 6개 국내항만의 대상선박의 Squat 시나리오 및 조건 .....	57
Table. 4.6 가덕도(부산신항 부근)의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원) .....	59
Table. 4.7 부산항, 대상선박 Squat 계산 조건 .....	59
Table. 4.8 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 기본수준면(수심 17m) .....	60
Table. 4.9 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 평균해수면(수심 17.95m) .....	62
Table. 4.10 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 평균고조높이(수심 18.5m) .....	63
Table. 4.11 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 최대홍수 10%(수심 17.6m) .....	64
Table. 4.12 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 평균고조 높이(수심 17.5m) .....	65
Table. 4.13 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 최대홍수 15%(수심 18.4m) .....	66
Table. 4.14 울산항의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원) .....	68
Table. 4.15 울산항, 대상선박 Squat 계산 조건 .....	68
Table. 4.16 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 평균해수면(수심 23.5m) .....	69
Table. 4.17 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 홍수대비 15%(수심 24.15m) .....	70
Table. 4.18 여수항의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원) .....	72

Table. 4.19 여수항, 대상선박 Squat 계산 조건 .....	72
Table 4.20 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 평균해수면(수심 22.8m) .....	73
Table 4.21 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 홀수대비 10%(수심 23.2m) .....	74
Table 4.22 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 기본수준면(수심 22m) .....	75
Table 4.23 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 평균해수면(수심 23.8m) .....	76
Table 4.24 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 홀수대비 15%(수심 24.15m) .....	77
Table. 4.25 광양항의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원) .....	79
Table. 4.26 광양항, 대상선박 Squat 계산 조건 .....	79
Table 4.27 300,000 DWT급 벌크선 선수 squat(m), 홀수대비 10%(수심 23.5m) .....	80
Table 4.28 300,000 DWT급 벌크선 선수 squat(m), 기본수준면 (수심 22.4m) .....	81
Table 4.29 300,000 DWT급 벌크선 선수 squat(m), 최대홀수 15% (수심 24.5m) .....	82
Table. 4.30 인천항의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원) .....	84
Table. 4.31 인천항, 대상선박 Squat 계산 조건 .....	84
Table. 4.32 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat, 평균해수면(수심 17.2m) .....	85
Table. 4.33 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(m), 최대홀수 10%(수심 13.9m) .....	86
Table. 4.34 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(m), 평균해수면(수심 16.5m) .....	88
Table. 4.35 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(m), 최대홀수 15%(수심 14.5m) .....	89
Table. 4.36 평택항의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원) .....	91
Table. 4.37 평택항 대상선박 Squat 계산 조건 .....	91
Table. 4.38 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat, 평균해수면(수심 15.1m) .....	92
Table. 4.39 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(m), 기본수준면(수심 13.4m) .....	93
Table. 4.40 항만 설계기준의 항내 항로 수심과 현재 국내항만의 항내 항로 수심 비교결과	94
Table. 4.41 항만 설계기준의 접근 항로 수심과 현재 국내항만의 접근 항로 수심 비교결과	94
Table. 4.42 시나리오별 계산 결과 .....	95

## List of Figures

Fig. 1.1 Flow chart of study .....	3
Fig. 2.1 부산 신항 컨테이너 부두위치 및 개발계획평면도 .....	16
Fig. 2.2 부산신항 및 부산신항 항로 .....	17
Fig. 2.3 부산신항 항내 및 선석 수심 .....	18
Fig. 2.4 부산신항 접근 항로 수심(항로 중앙 최소수심 16m) .....	18
Fig. 2.5 울산항의 정박시설 .....	20
Fig. 2.6 울산항의 전경 및 항로 .....	21
Fig. 2.7 울산항 SK buoy의 전경 및 항로 .....	21
Fig. 2.8 광양항 광양지역 접안시설 .....	24
Fig. 2.9 여수 및 광양항 전경 및 항로 .....	24
Fig. 2.10 여수 GS 원유부두 전경 및 항로 .....	25
Fig. 2.11 여수항 전경 및 항로 .....	25
Fig. 2.12 광양항 원료부두 전경 및 항로 .....	26
Fig. 2.13 인천항 전경 및 항로 .....	27
Fig. 2.14 인천항 LNG부두 및 항로 .....	28
Fig. 2.15 인천항 LNG부두 전경 .....	28
Fig. 2.16 평택항 부두배치 전경 .....	29
Fig. 2.17 평택항 전경 및 항로 .....	30
Fig. 2.18 평택항 LNG부두 및 항로 .....	31
Fig. 2.19 Queen Elizabeth 2호 .....	32
Fig. 2.20 Queen Elizabeth 2호의 항해계획 항로(하단)와 실제 항로(중앙) .....	34
Fig. 2.21 Desh Rakshak호 .....	35
Fig. 2.22 Desh Rakshak호의 항해계획 항로(과란선)와 실제 항로(적색선) .....	37
Fig. 3.3 UKC 요소 .....	38
Fig. 3.4 항로의 형태 .....	45
Fig. 4.1 부산 신항의 항만 배치 및 수심 .....	58
Fig. 4.2 부산 신항의 항로 및 Squat 계산 해당지역 .....	59
Fig. 4.3 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 17m) .....	60
Fig. 4.4 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 17.95m) .....	61
Fig. 4.5 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 18.5m) .....	62
Fig. 4.6 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 17.6m) .....	63
Fig. 4.7 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 17.5m) .....	65
Fig. 4.8 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 18.4m) .....	66
Fig. 4.9 울산항 SK buoy의 배치 및 수심 .....	67
Fig. 4.10 울산항 SK buoy의 진입항로 배치 및 수심 .....	68
Fig. 4.11 300,000 DWT급 탱커선의 선수 Squat(수심 : 23.5m) .....	69

Fig. 4.12 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 24.15m) .....	70
Fig. 4.13 여수 GS 원유부두 배치 및 수심 .....	72
Fig. 4.15 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 22.8m) .....	73
Fig. 4.16 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 23.2m) .....	74
Fig. 4.17 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 22m) .....	75
Fig. 4.18 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 23.8m) .....	76
Fig. 4.20 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 24.15m) .....	77
Fig. 4.21 광양항 원료부두의 항내 수심 및 Squat 계산 해당지역 .....	78
Fig. 4.22 광양항의 항로 및 Squat 계산 해당지역 .....	79
Fig. 4.23 300,000 DWT 벌크선의 선수 Squat(수심 : 23.5m) .....	80
Fig. 4.24 300,000 DWT 벌크선의 선수 Squat(수심 : 22.4m) .....	81
Fig. 4.25 300,000 DWT 벌크선의 선수 Squat(수심 : 24.5m) .....	82
Fig. 4.26 인천항 LNG부두의 항만 배치 및 수심 .....	83
Fig. 4.27 인천항 LNG부두 항로 배치 및 Squat 계산 수심 .....	84
Fig. 4.28 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 17.2m) .....	85
Fig. 4.29 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 13.9m) .....	86
Fig. 4.30 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 16.5m) .....	87
Fig. 4.31 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 14.5m) .....	88
Fig. 4.32 평택항 LNG부두의 항만 배치 및 수심 .....	90
Fig. 4.33 평택항 LNG부두 항로 배치 및 Squat 계산 수심 .....	90
Fig. 4.34 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 15.1m) .....	91
Fig. 4.35 150,000 m <sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 13.4m) .....	92



# A study on Under Keel Clearance of domestic port' Fairway for safe passage

Ryu, Won

Department of Coast Guard Studies  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

Busan and Busan new port are one of the biggest harbors in South Korea where container vessels frequently navigate through. It has been a few years ago for large-scale container ships which size from 10,000 TEU to 18,000 TEU to have passed the ports. The depth of water of Busan port's is 15-16m now, and it will be extended to 17m by the end of 2016 due to ship-owner's strong request for the safety of a enormous vessel. Busan new port is able to accomodate up to 18,000 TEU of container vessels which have draft of 16m when loading fully. It needs to examine whether the port have a sufficient water-depth for such a huge vessel. Container vessel "Desh Rakshak" was stranded because of insufficient water depth during entrance to "Port Phillip" at Australia in 2006. The ship's draft was 11.5m and the water-depth was 15.1m. Even though there was 3.6m difference between the water-depth and vessel's draft that was not able to prevent all of accident's causes such as Squat.

Vessels are getting bigger and faster. Moreover an increased speed of a vessel could be interference of a safety of navigation in ports. Squat effect would be one of the main reason for ship's grounding in harbor. Relating to the accident mentioned above, we should evaluate Busan new port's UKC(Under Keel Clearance) to keep any accident away from. In order to calculate a secure level of water, Squat effect should be understood exactly and considered appropriately to the port.

South Korea specifies UKC(Under Keel Clearance) in Harbor and Fishery Design Criteria(2014) as follows:

- (1) Waterway in a port where waves including swell does not affect ship motion 10%



more than Max draft

(2) Waterway out of a port where waves including swells affect ship motion : 15% more than Max draft

(3) Waterway in open water where waves including swells exist : 20% more than Max draft

After comparing with domestic harbor design criteria and abroad harbor design criteria, the difference should be examined. If there is deficiency in domestic standard design, it is essential to analyse the reason and to take measures to improve the safety of the port and vessel.

Analysis was focused on squat calculation due to the fact that several UKC factors are uncertain and cannot be measured accurately. For calculation, a minimum of 0.5m was assumed to be UKC needed to ensure safety considering unquantifiable factors. Based on the assumption, squat, which has the greatest influence on UKC, was calculated by ship speed. The result was used to review and calculate the UKC of domestic port' fairway.

The study covers major trade ports that are: Busan Newport in Busan, Incheon and Pyeongtaek Ports of the Westcoast with frequent entry and exit of ships, Yeosu and Gwangyang Ports of the Southwestern coast, and Busan and Ulsan Ports of the Southeastern coast of Korea. The ports specified above were analyzed to confirm whether they are equipped with the level of UKC sufficient for the safe operation of the largest vessels entering the ports. Based on the result, improvements that will potentially enable safe operation in Korean ports are proposed.

In order to secure the level of UKC that is required for safe passage in domestic port' fairway, interior and entrance channels must be dredged to ensure compliance with the current port design standard. Although a large sum of cost will be incurred from dredging, the cost caused for ships that are required to pass ports only during high waters cannot be ignored. While safety must be the key consideration, creating a port that allows entry regardless of tide will also provide the benefit of strengthening the competitiveness of ports.

Secondly, the depth of water requirement for channels in Korean ports should be reconsidered. The existing standard is in line with Japan's technical standards on ports. However, a uniform requirement of 10% or 15% of maximum draught is applied. Thus, the standard must be revised to take into account the specification or control characteristics of specific vessels that are expected to enter Korean ports as in the case of Japan. Otherwise, it would be desirable to set up a guideline that considers every factor of UKC to come up



with the requirement on depth of water as in the case of PIANC that is trusted globally.

Since redefining the Korean port standard is deemed to take quite a long time, a short-term alternative to securing navigational safety could be imposing a limit on ship speed or time of entry or exit as in the case of several ports. A speed limit could be enforced in Busan Newport as done in Busan North Port. The requirement to enter port only during high tide applied to Yeosu, Gwangyang, Incheon and Pyeongtaek Ports should be explicitly specified as an official document such as port notification. As such, efforts to ensure safe passage should be reinforced.

**KEY WORDS:** Channel, Depth, Passage, Port, Safety, Squat, UKC,



## Nomenclature

$B$  : 선폭(Breadth)

$C_B$  : 방형비척계수(ship's block coefficient ( $\nabla/L_{pp}BT$ ))

$F_{nh}$  : 프루드 수(Froude Number)

$h$  : 수심(Water depth)

LBP,  $L_{pp}$  : 수선간장(Length between perpendicular)

$g$  : 중력가속도(Gravity)

$s$  : 선체침하량(Squat)

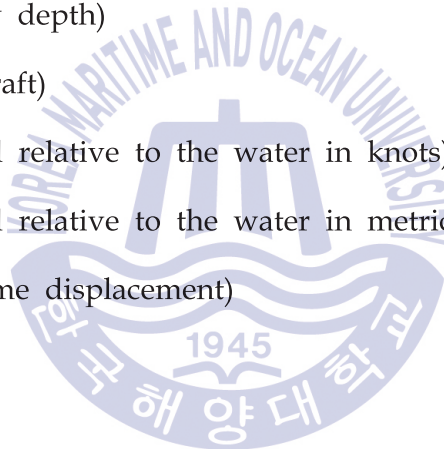
S.D : 안전 수심(Safety depth)

$T$  : 흘수(Maximum draft)

$V_k$  : 선속(Ship's speed relative to the water in knots)

$V_s$  : 선속(Ship's speed relative to the water in metric units)

$\nabla$  : 배수량(ship volume displacement)



## Abbreviations

DWT : Deadweight Tonnage(metric tonnes)

IAHR : International Association for Hydro-Environment Engineering & Research

IALA : International Association of Marine Aids navigation & Lighthouse Authorities

IAPH : International Association of Ports & Harbours

IMPA : International Maritime Pilots Association

LNG : Liquefied Natural Gas

LOA : Length Overall

PIANC : The World Association for Waterborne Transport Infrastructure

PCC : Pure Car Carrier

ROM : Recommendations for Maritime Works(Spanish)

TEU : Twenty-foot Equivalent Unit

UKC : Under keel Clearance

VLCC : Very Large Crude Oil Carrier

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라 최대의 항만인 부산항(부산신항)은 컨테이너들의 입출항이 잦은 항구이다. 몇 년 전부터 10,000TEU급 이상의 대형 컨테이너들의 입출항이 늘어나고 있는 추세고 최대 18,000TEU급 컨테이너가 운항하고 있다. 현재 부산항의 준설수심은 15-16m이고, 2016년 말까지 항만 수심 전체를 17m로 준설할 예정이다. 현재의 수심으로는 대형 컨테이너들이 화물을 가득 싣고 입항하기에는 부족하기 때문에 글로벌 선사들의 요구에 부합하여 준설을 결정하였고, 정부 및 민간기업에 의해 준설작업이 진행 중이다. 부산신항에 입항하는 최대선형의 컨테이너선이 18,000TEU급으로 Full Loading 상태에서 최대흘수 16m에 달한다. 따라서 이러한 선박의 입출항 및 통항에 적절한 여유 수심을 확보하고 있는지에 대한 검토의 필요성이 있다. 실제 2006년 Desh Rakshak호가 호주의 Port Phillip항으로 입항하는 항로 중에서 안전한 여유 수심을 확보하지 못하고 좌초되는 사고가 발생하였다. 이때의 항로 수심은 15.1m 이었고 동선박의 흘수는 11.5m이었다. 3.6m의 여유수심이 확보될 것으로 판단하였지만 결국 선체침하현상(Squat)등의 이유로 좌초가 되었다. 그리고 지속적으로 선박들은 점점 대형화되고 있으며, 대형화에 맞추어 엔진의 크기 및 출력 또한 증가하고 있다. 엔진의 크기 및 출력이 증가하면서 선박의 조종속력 역시 예전의 선박들에 비해 높아지고 있다. 높아진 속력은 항구 및 항로의 진입 시 선박통항 안전성을 저해하는 요소가 될 수 있다. 특히 속력이 높아지면 Squat가 증가하면서 선박의 여유수심이 줄어들어 좌초의 요인이 될 수 있다.

위의 사고와 관련하여, 부산항의 준설 이후 실제 부산항 입출항을 위한 항내 및 접근 항로의 안전한 통항을 위해 갖추어야 할 선저 여유수심(UKC, Under Keel Clearance)에 대한 정확한 분석과 더불어 UKC와 밀접한 관계를 갖고 있는 Squat 등의 정확한 개념정리 및 정의에 대해 조사하고 이를 통해 현재 국내 항만의 대형선 입항시 안전 통항을 위한 여유수심을 확보하고 있는지에 대해 분석이 필요한 상황이다.

현행의 국내 항만 설계 기준인 “항만 및 어항 설계기준(2014)”에서는 항로의 여유수심에 대한 규정에는 항내 항로에서 최대흘수의 10%, 스웰이 없거나 짧은 항만 진입 항로에서 최대흘수의 15%, 스웰이 존재하거나 비교적 항로가 긴 곳에서는 최대흘수의 20%로 규정하고 있다. 그리고 선석에 대한 기준은 항내 항로의 기준과 달리 최대흘수에 여유수심을 고려할 것으로 규정하고 선박의 재화중량톤(DWT)에 따른 선석 수심을 제시하고 있다.

본 연구에서는 국내 항만 설계기준의 항로 수심기준과 현행 항만의 항로 수심 현황을 비교

하여 적절성에 대해 분석하고 국외의 항만 설계 기준을 비교하여, 그 차이점에 대해 분석해 보았다. 그리고 안전수심을 확보하기 위한 여유수심(UKC)의 구성요소에 대해 조사하였고 이 중 여유수심에 가장 큰 영향을 끼칠 것으로 판단되는 선체침하(Squat)의 공식을 바탕으로 국내 주요 무역 항만의 선속별 여유수심을 분석하였다. Squat 계산을 통한 분석을 한 이유는 UKC의 구성요소 중 불확실성 요소 및 각종 여유 요소들을 실제 정확히 측정하기 불가능한 것들이 다수 있기 때문이다. 이를 위해 부산항을 기준으로 30년 동안의 평균 기상상태를 분석하여 구성요소 중 확정요소를 살펴보았다. 계산 결과 최소 0.33m의 추가적인 UKC가 요구되었고, 이에 측정 불가능한 요소들까지 감안한다면 최소의 안전 UKC가 0.5m는 되어야 한다는 전제조건을 가지고 UKC에 가장 큰 영향을 끼치는 Squat의 선속별 계산을 통해 국내 항만의 UKC를 검토, 계산해 보았다.

본 연구의 대상 범위는 부산항과 더불어 선박의 입출항이 잦은 서해안(인천 및 평택), 남서해안(여수 및 광양), 남동해안(부산 및 울산)의 주요 무역항들이다. 이 항만들에 입항하는 가장 큰 선박들이 안전하게 운항하기 위해 충분한 UKC를 확보하고 있는지에 대해 분석하였고 분석 결과를 바탕으로 국내 항만의 안전한 통항을 위한 개선사항을 제시하고자 한다.

## 1.2 연구 방법 및 내용

본 연구는 국내 항만에 입항하는 대형선을 기준으로 항로의 여유수심에 관해 국내 기준을 조사하고, UKC 여러 요소 중 불확실하고 정확한 측정이 곤란한 요소들을 종합하여 설정한 최소 UKC 0.5m를 기준으로 선체침하(Squat) 공식에 따라 선속별 계산한 값을 이용하여 항만 설계기준의 여유수심 기준에 부합되는지 비교 및 분석하고자 한다. 그리고 이러한 비교분석을 통하여 국내 항에 입출항하는 선박들의 안전운항을 위한 UKC 기준 및 이에 대한 개선방안을 제시하고자 한다.

이를 위해 제2장에서는 UKC와 관련된 국내외 항로 수심 설계기준을 조사 비교하고, 국내 주요 무역항인 부산, 울산, 여수, 광양, 인천 및 평택항의 항만 수역 현황 및 여유 수심에 대해 조사하였다. 그리고 UKC 부족으로 인한 좌초사고의 실례를 사고개요 및 원인을 조사하였다.

제3장에서는 안전수심 확보를 위한 고려사항으로 UKC와 관련된 요소를 분석하고 이를 통해 본 연구의 주요 분석 요소인 Squat와 관련된 공식들의 특징과 차이를 비교하였다.

제4장에서는 실제 우리나라 주요 항을 입항하는 선박들의 제원 등을 바탕으로 제3장에서 기술한 선체침하 공식들을 이용하여 개별 선박의 증가하는 선체침하량과 이에 대한 국내항만의 여유 수심을 비교 및 분석하였다. 비교 및 분석에 대한 결과를 토대로 국내 항만의 입출항시의 안전성에 대해 평가하였다.

제5장에서는 본 연구의 결론으로서 국내항만의 안전한 통항을 위한 안전 여유 수심에 대한 제안 및 개선방향을 제시하고 앞으로의 연구방향을 제시하였다.

Fig. 1.1은 본 연구의 연구 절차를 나타낸다.

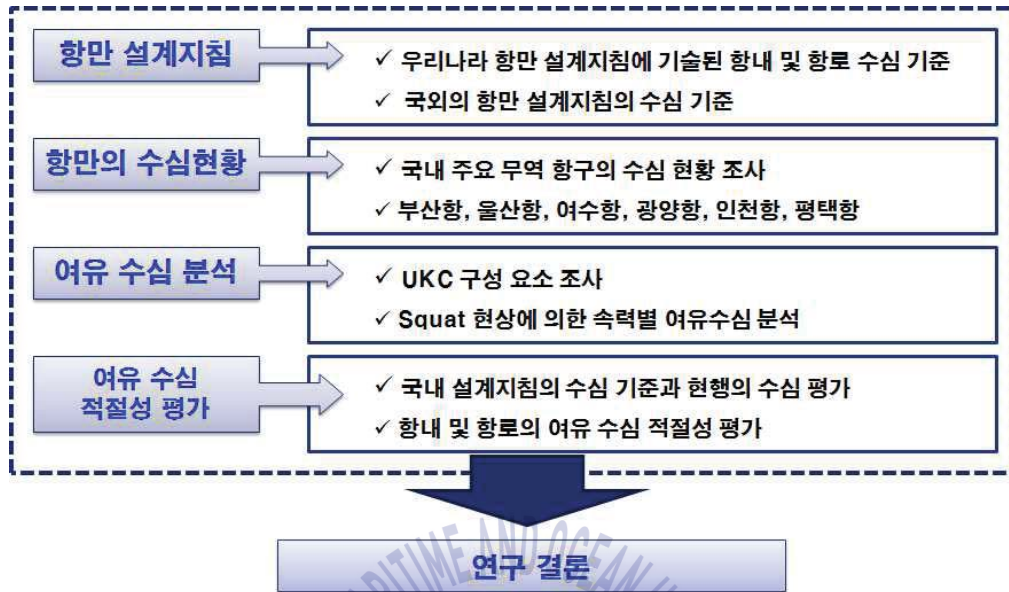


Fig. 1.1 Flow chart of study

### 1.3 선행 연구

선박의 선체침하현상에 대한 공식 연구로는 1966년 Tuck, 1970년 Tuck 및 Talyer, 1976년 Huuska, 1978년 Eryuzlu, 1979년 Barrass, 1986년 Yoshimura, 1989년 Römisch등 활발히 이루어졌다. 또한 이런 공식에 대한 연구를 바탕으로 개정 연구들도 활발히 이루어졌다. 대표적으로 Barrass는 2002년, 2004년 그리고 2007년에 기존 자신의 연구를 바탕으로 새로운 공식을 연구 발표하였다. Eryzulu 역시 1994년에 그의 초기 연구를 대체하였다. 이 공식 및 연구에 대해서는 제3장에서 자세히 다루도록 하겠다.

국내 연구로는 “전산유체역학을 이용한 제한수로에서의 선박 침하 해석”(신현경, 최시훈, 2011), Ship Squat현상 및 추정식의 비교(김영국 외), “A Study of Ship Squat in Confined Water Using KCS”(윤종석 외, 2012) 등이 있다.

“전산유체역학을 이용한 제한수로에서의 선박 침하 해석”에서는 한국해양연구원 해양시스템 안전연구소에서 개발한 선형인 KCS(Kriso container ship)을 이용하여 선박 침하 해석을 연구하였다. Squat에 관련된 여러 이론 및 실증 계산식을 이용하여 개발 선형에 대해 전산유체역학적으로 해석하여 제한 수로에서의 침하량 증가 및 선체 중앙부 하층의 속도 증가함을 통해 선저 부근의 압력 강하가 발생함을 유추하였다

“Ship Squat현상 및 추정식의 비교” 연구에서는 Squat 개념과 알려진 Squat 계산식들을 비



교 검토하였다. Visual C++을 이용하여 계산식을 프로그래밍 하여 계산식들과 2대의 컨테이너의 실적 자료를 비교하였다. 이를 통해 Römisch식이 실선 계측 값과 가장 유사하게 나왔으며, Huuska 및 Barrass의 식들은 실선 계측 값과 유사하였으며, 실선 계측에 비해 약간 높은 값이 나왔음을 결론지었다.

그리고 국내 항만의 항로와 선저 여유 수심에 대한 연구로는 “국내 항만진입 항로에서의 현행 입항허용 기준에 대한 대안”(박현주 외, 2011)이 있다. 이 연구는 항로 준설 수심에 대한 결정론적 방법 및 확률적 방법에 대해 기술하고 있으며 결정론적 방법보다 확률적 방법에 의한 입항관리 기준으로 정해 항만의 통항 안전성과 접근성을 확보하기를 권하고 있다.

이 밖에도 “Analysis and Comparison of SHIPS Derived Squat”(Sven Dunker 외)에서 GPS Data를 바탕으로 선체침하현상을 비교 분석한 연구들도 있다.

항만 설계와 안전한 여유수심과 관련하여 PIANC(World Association for Waterborne Transportation Infrastructure)에서는 2014년 IAPH(International Association of Ports and Harbors), IMPA(International Maritime Pilots Association), IALA(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)와 협력한 발행한 “Report n° 121-2014, Harbour Approach Channels Design Guidelines”를 발행하여 전세계적으로 널리 사용되는 선체침하 공식을 이용하여 제한되지 않은 항로(Unrestricted Channel), 제한된 항로(Restricted Channel), 운하 등에 대하여 계산 비교하여 발간하였다.

본 연구에서도 기존의 여러 연구들에서 활용한 여러 선체침하 공식을 이용하여 아직까지 분석이 되어 있지 않은 국내 주요 항만의 대표적인 대형 선박들을 대상으로 선체침하 현상을 계산하여 선저 여유 수심이 적정 수준인지를 분석하고, 기준을 초과할 시 이에 대한 개선방안을 제안하고자 한다.

## 제 2 장 국내외 항로 설계기준 및 현황

### 2.1 항만 설계기준

선박은 수심이 얇은 천수구역을 항해할 때 베르누이 방정식에 의해 선저 부근에는 유속이 증대하고 반대로 압력은 낮아져서 선체의 부력이 감소하여 선체가 침하하는 현상, 즉 선체 침하 현상이 발생한다. 이런 현상은 좌초와 같은 대형 사고를 유발하게 된다. 실제 1992년 Queen Elizabeth 2호가 미국 매사추세츠 연안 Cuttyhunk 부근 사초(Reef) 지역을 25knots의 선속으로 항해 중에 좌초되어 선저부에 손상을 입었었다. 그리고 2006년에는 Desh Rakshak호가 호주의 Port Phillip항으로 입항하는 항로 중에서 안전한 여유 수심을 확보하지 못하고 좌초되는 사고가 발생하였다. 우리나라에서도 최근 20년간 16척 이상의 배가 선체침하현상으로 인하여 좌초되는 사고가 있었다는 조사결과가 있다.<sup>1)</sup>

좌초사고를 예방하기 위해 항만을 이용하는 선박 및 장래 이용할 것으로 예상되는 선박들이 안전하게 입출항 할 수 있도록 항만 설계기준에서는 항로 및 선석의 수심에 대한 적정 기준을 설정하고 있다.

이에 이 장에서는 국내 항만 설계기준 및 국외 항만 설계기준에 대해 조사 및 비교하였다.

국내 항만 설계기준은 2014년 「항만 및 어항 설계기준·해설」을 기준으로 하고 있다. 여기에 항로 수심 기준 및 선석 수심 기준이 따로 구분되어 있다.

국외 항만 설계기준으로는 미국, 영국, 일본 뿐 아니라 PIANC 등의 국제협회에서 항로 수심에 대한 기준을 정하고 있다. 이 장에서는 특히 미국, 일본, PIANC의 기준을 조사 정리하였다.

다음으로 국내 해역을 3군데 나누어 남동해안, 남해안 및 서해안의 각각 2개의 주요 항만을 선정하여 항만들의 항만 수역 현황에 대해 조사하였다. 이 항만들의 항로 수심 현황을 바탕으로 4장에서 이 항만들을 입출항하는 대형선들이 안전한 통항을 충분한 항로 수심을 갖추었는지 분석하였다.

그리고 안전한 여유수심(UKC)를 확보하지 못한 대표적인 사고 2건인 Queen Elizabeth 2호 및 Desh Rakshak호의 사고의 개요를 조사하였고, 이런 사고의 원인에 대한 분석을 통해 안전수심 확보를 위한 고려할 요소를 도출하였다. 이러한 요소는 3장에서 조사, 분석하였다.

1) Ship Squat현상 및 추정식의 비교, 김영국 외,



## 2.1.1 국내 항만 설계기준

### 2.1.1.1 항로 수심 기준

국내 항만 설계기준은 항만법 제29조2)의 항만시설의 기준과 해양수산부령 제1호 항만시설의 기술기준에 관한 규칙에 따르게 되어 있고, 이에 대해 세세한 지침은 해양수산부에서 발간한 「항만 및 어항 설계기준·해설」을 기준으로 하고 있다.

「항만 및 어항 설계기준·해설」의 “제6편 수역시설 및 준설·매립 제1장 수역시설 1-2 항로 1-2-4 항로 수심”에서 다음과 같이 기술하고 있다.

“항로수심은 저질(低質), 선박의 동요(動搖), 트림(trim), 선체침하(squat), 해도오차, 측량오차, 준설정도(浚渫精度) 등에 따라 여유를 고려한다”

그리고 항로 수심에 대해서 고려해야 하는 사항을 정리한 항로수심에 대한 기술적 기준에 대한 해설로 다음과 같이 기술하고 있다.

(1) 선박이 얹은 수심 해역을 항행할 때에는 다음의 위험한 상태를 예상할 수 있다.

- ① 조종이 어렵거나 항행 시 조타에 의한 보침·변침조작(保針·變針操作) 효과가 극히 저하되고 때로는 조선폭능 상태에 빠질 수 있다.
- ② 계선 또는 정박 조선 시 횡방향 이동에는 아주 큰 저항을 받아 큰 지원을 필요로 할 뿐 아니라 제어가 어렵게 된다.
- ③ 항행중의 선체침하증대로 선저(船底)가 해저에 접촉함으로써 선체의 손상, 기관이나 추진 장치에 장애를 초래한다.

(2) 항행의 안전 확보를 위해서는 최대흘수시의 선저와 해저와의 사이에 여유 수심(UKC - under keel clearance)을 충분하게 확보할 필요가 있으며, 여유 수심은 다음 값 이상으로 확보하는 것이 바람직하다.

- ① 정온이 확보된 항내의 경우는 최대흘수의 10%
- ② 스웰이 없는 진입항로 또는 접근해역은 최대흘수의 15%
- ② 스웰이 존재하거나 비교적 항로가 긴 경우 최대흘수의 20%

(3) 파랑에 의한 선박의 동요는 선박의 전장, 폭, 속도, 파고, 파장 등에 따라 정해지지만, 동요에 대한 여유수심은 일반적으로 소·중형선의 경우는 파고의 2/3, 대형선에서는 1/2을

---

2) 항만법, 제29조(항만시설의 기술기준) ① 해양수산부장관은 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 그 밖에 대통령령으로 정하는 항만시설에 대하여 기술기준을 정하여 고시할 수 있다.

보고 있다. 이 값들의 적용 시는 항행조건이 비슷한 다른 항로의 실적을 참고하는 것이 바람직하다.

(4) 수심이 얕은 수역이나 항로단면적이 좁은 수역에서는 항행하는 선박의 선체주변의 물이 가속되어 압력이 감소하고, 선체부근의 수위가 저하하여 선체가 침하하며, 많은 경우에 선수트림이 변하는 겨우 선회성은 나쁘게 되지만 보침성(保針性)은 좋게 된다.

(5) 해수와 진흙 등이 혼합된 액상이토층(fluid mud layer)과 같이 수심을 정확하게 정의하기 어려운 해역에서는 항해 해저(nautical bottom) 개념을 사용하여 항해 수심(nautical depth)을 정의할 수 있다. 항해 해저란 그 경계 이상으로 선박이 접촉하게 되면 선박의 제어나 조종이 불가능해지는 해저 경계면을 의미한다.

항로의 수심에 대해서 저질, 선박의 동요, 트림, 선체침하, 해도오차, 측량오차 및 준설정도 등 여러 가지 고려 요소를 설명하고 있지만, 이를 계산할 정량적인 값은 정온이 확보된 항내의 경우 최대홀수의 10%, 스웰이 없는 진입항로 또는 접근해역은 최대홀수의 15%, 스웰이 존재하거나 비교적 항로가 긴 경우 최대홀수의 20%라는 최대홀수를 표준으로 하는 지표를 두고 있을 따름이다.

#### 2.1.1.2 선석 수심 기준

항로 수심 기준과 별도로 「항만 및 어항 설계기준·해설」에서는 선석 수심에 대해서는 별도의 기준을 정하고 있다. 항만의 선석의 수심에 대해서는 제8편 계류시설 제2장 안벽시설의 제원 및 구조형식 2-1 선석(berth)의 치수에서 다음과 같이 제시하고 있다.

(1) 선석의 길이는 대상선박이 특별히 정해진 경우 정해진 선박의 전장에 선수 및 선미 계류 라인에 의한 선박계류에 필요한 길이를 더한 수치를 표준으로 하며, **선석 수심은 대상선박의 만재홀수와 같이 최대 홀수에 대응하는 여유수심을 더한 수치로 하는 것을 표준으로 한다.** 단 대상선박이 특별히 정해지지 않은 경우에는 선박 이용에 지장이 없는 적절한 수치로 한다.

(2) 선석 수심의 기준이 되는 수면은 공사용 기준면으로 한다.

이에 대한 기술적 기준에 대한 해설에 각 선종별 재화중량톤수에 따른 선석의 수심을 따로 규정하고 있다. “제2장 2-1 대상선박의 주요치수”의 나온 선박의 홀수 대비 선석의 수심비를 같이 표기하면 다음과 같다.

① 화물선

**Table. 2.1** 화물선 재화중량톤수에 따른 선석의 수심

재화중량톤수 (DWT)	선석의 길이(m)	선박의 흘수(m)	선석의 수심(m)	h/T
1,000	80	3.8	4.5	1.18
2,000	100	4.8	5.5	1.15
3,000	110	5.5	6.5	1.18
5,000	130	6.4	7.5	1.17
10,000	160	8.1	9.0	1.11
12,000	170	8.6	10.0	1.16
18,000	190	9.8	11.0	1.12
20,000	210	9.9	11.0	1.11
30,000	240	10.5	12.0	1.14
40,000	260	11.5	13.0	1.13
55,000	280	12.8	14.0	1.09
70,000	300	13.8	15.0	1.09
90,000	320	15.0	17.0	1.13
100,000	330	15.5	17.0	1.10
120,000	350	16.5	18.0	1.09
150,000	370	17.7	20.0	1.13

② 컨테이너선

**Table. 2.2** 컨테이너선 재화중량톤수에 따른 선석의 수심

재화중량톤수 (DWT)	적재가능 컨테이너 수(TEU)	선석의 길이(m)	선박의 흘수(m)	선석의 수심(m)	h/T
10,000	800	170	7.7	9.0	1.17
20,000	1,500	220	9.9	11.0	1.11
30,000	2,000	250	11.2	12.0	1.07
40,000	3,000	300	12.1	13.0	1.07
50,000	4,000	330	12.7	14.0	1.10
60,000	5,000	350	13.4	15.0	1.12
100,000	8,000	400	14.7	16.0	1.09
150,000	14,000	450	16.0	17.5	1.09
200,000	18,000	500	16.5	18.5	1.12
250,000	22,000	500이상	18.0	20.0~21.0	1.12~1.17

### ③ 유조선

**Table. 2.3** 유조선 재화중량톤수에 따른 선석의 수심

재화중량톤수(DWT)	선석의 길이(m)	선박의 흘수(m)	선석의 수심(m)	h/T
1,000	80	4.0	4.5	1.13
2,000	100	4.9	5.5	1.12
3,000	110	5.5	6.5	1.18
5,000	130	6.4	7.5	1.17
10,000	170	7.6	9.0	1.18
15,000	190	8.6	10.0	1.16
20,000	210	9.3	11.0	1.18
30,000	230	10.4	12.0	1.15
50,000	270	12.0	14.0	1.17
70,000	300	12.9	16.0	1.24
90,000	300	14.2	17.0	1.20
100,000	360	14.8	18.0	1.22
150,000	360	17.2	21.0	1.22
300,000	430	22.4	27.0	1.21

“2-1 선석(berth)의 치수”의 기준에서도 선박의 크기와 종류마다 다른 선석 수심 기준을 정의하고 있었다.

화물선의 경우 재화중량톤수에 따라 선박흘수 대비 선석의 수심(이하 h/T)이 1.09~1.18 이었다. 컨테이너의 경우는 h/T가 1.07~1.17로 화물선보다 약간 낮은 비를 보였다. 탱커선의 경우에는 1.12~1.24로 타 선종에 비해 h/T가 가장 높은 기준을 제시하고 있었다.

재화중량톤수가 같은 150,000 DWT급 선박의 선종 비교를 해보면 Table 2.4와 같이 화물선의 경우 20m, 컨테이너의 경우 17.5m, 유조선의 경우 21.0m로 차이를 보였다. 이는 선박의 선형이 날씬한 컨테이너의 경우가 가장 작았고, 선형이 뚱뚱한 유조선의 경우 선석의 수심이 가장 높았다.

**Table. 2.4** 150,000 DWT 선박들의 선석 수심 비교

재화중량톤수(DWT)	선박의 흘수(m)	선석의 수심(m)	H/T
화물선	17.7	20.0	1.13
컨테이너	16.0	17.5	1.09
유조선	17.2	21.0	1.22

한편, “제8편 계류시설 제2장 안벽시설의 제원 및 구조형식 2-1 선석(berth)의 치수”에서의 선석 수심은 항내 항로 수심과 다른 규정으로 되어 있어 이를 항내 선석 수심과 비교한 결과는 Table 2.5와 같이 차이를 보였다.

**Table. 2.5** 선석 수심 기준과 항내 항로 수심 기준의 비교

부두	선석 수심	대상선박 흘수	항내 항로 수심 기준 최대흘수 10%	대상선박에 따른 부두 선석의 기준
부산항 북컨테이너부두	17m	16m	17.6m	18.5m : 최대흘수의 15.6%
부산항 남컨테이너부두	18m			
부산항 서컨테이너부두	20m			
광양항 원료부두	24m	21.3m	25.4m	20-21m : 대상선박 흘수에 비해 작음
울산항 SK buoy	23.5m	21m	23.1m	27m : 최대흘수 28.6%
여수항 원유부두	22m	21m	23.1m	

부두 선석 수심 기준은 부산항의 경우 부산항 서컨테이너부두를 제외하고는 선석 기준인 18.5m에 부합되지 않았다. 하지만 항내 항로 수심 기준 최대흘수의 10%인 경우는 17.6m 기준으로 부산항 북컨테이너부두만이 만족하지 않았다. 광양항 원료부두의 경우에는 선석 기준이 20-21m로 대상선박의 흘수보다도 낮은 것을 알 수 있었고, 울산항 SK buoy, 여수항 원유부두의 경우는 선석 수심 기준인 27m에 부족한 23.5, 22m이었다.

하지만 대상 선박의 최대흘수 10%인 기준은 울산항은 만족하였고, 여수항 원유부두는 이 역시 1.1m 부족한 것으로 조사되었다.

선석에 접안한 경우, 선박들의 속력이 거의 없는 상태이기 때문에 Squat의 발생이나 추가적인 여유수심 저해 요소가 항내 항로에 비해 적은데도 불구하고, 선석 수심의 기준이 항내 수심

의 기준보다 높은 것을 확인할 수 있었다.

부산항의 경우 대상선박의 흘수 10%를 적용한 기준은 17.6m이었지만, 선석 수심의 기준은 18.5m로 대상선박의 흘수 15.6%의 여유수심을 가지도록 규정되어 있어 두 기준의 수심기준이 상이한 것으로 나타났다.

울산항, 여수항의 경우도 선석 수심의 기준이 항내 항로 수심 기준보다 높았으며, 이는 최대 흘수 대비 약 28.6%였다.

그리고 선박의 종류에 따라, 부산항의 경우 흘수대비 15.6%, 울산 및 여수항의 경우 28.6%로 차이를 보였다.

## 2.1.2 국외 항만 설계기준

국외의 항만설계의 대표적인 기준서로는 미국의 “shore protection manual(1984, U.S. army corps of engineer, CERC)과 “coastal engineering manual(2001, U.S. army corps of engineer, CERC)”, 영국의 “BS 6349” maritime structures(1984)”와 영국과 네덜란드의 공동 프로젝트로 탄생한 “manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering(CIRIA/CUR SP 83, 1991)”, 일본의 “항만의 시설의 기술상의 기준·동해설(1999)을 들 수 있다. 또한 EAU, indian standard DNV, APL, ANSI code들이 항만 및 해양 구조물 설계에 이용되며, 우리나라는 일본의 설계기준을 인용한 “항만 및 어항 설계기준(2014)을 사용하였다.

“shore protection manual”은 미 육군 공병단 해안공학연구센터에서 수십 년 간의 수리모형 실험 자료와 현장 관측 및 연구 자료들을 기초로 만든 설계기준서이며, 파랑의 추산법과 선형 파이론, 경사식방파제와 잔교식구조물의 설계법, 해안지형변동, 계획수립 및 분석에 대한 기준이다. 가장 오래된 항만설계기준서 중 하나이며 항만설계 분야에서는 교과서로 평가 받고 있다. “coastal engineering manual”은 “shore protection manual”의 개정판으로서 새로이 연구된 많은 실험 결과와 부분 안전 계수법을 근간으로 하는 신뢰성설계법을 추가하여 내용을 대폭 보장하였다.

“BS 6349: maritime structure”는 유럽 및 중동, 동남아시아에서 대부분의 발주처가 “shore protection manual”과 더불어 항만설계기준서로 채택하며, 근래에는 경사식방파제나 호안의 설계에는 “manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering”이 더 선호되고 있는 실정이다. “manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering”이 더 선호되고 있는 실정이다. “manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering”은 영국(CIRIA, construction industry research and information association)과 네덜란드(CUR, center for civil engineering research and codes)의 공동연구로 탄생된 설계기준서로서 Delft 수리연구소와 HR wallingford에서 수행한 수리모형실험 결과를 바탕으로 각 분야의 전문가들이 “shore protection shoreline engineering”은 경사식방파제와 호안구조물의 분야에서 현재까지



발표된 설계기준서 중에서 가장 개선된 것으로 평가받고 있으며, van der Meer의 사석중량 결정식이 제시되어 있다. “manual on the use of rock in hydraulic engineering(CIRIA C683, 2007)”은 CUR, CIRIA, CETMET의 공동 저술로 1995년 초판에 이어 2007년에 두 번째 판이 발간되었으며, “manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering”과 “coastal engineering manual”의 해안분야 뿐만 아니라 하천 분야의 최신의 연구결과들이 반영되었다.

“항만의 시설의 기술상의 기준·동해설(2014)”은 일본 운수성 산하 항만연구소의 실험결과와 많은 연구에 힘입어 만들어진 기준서로 “shore protection manual”과 “manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering”의 많은 부분을 채용했으며, 산·학·연 연구의 많은 결과를 수용하여 다른 설계기준에서는 찾아볼 수 없는 부분에서 많은 발전이 있었으며, 2002년에 영문판인 “technical standards and commentaries of port and harbour facilities in japan(the overseas coastal area development institute of japan, 2002)”을 발간하여 해외 항만공사에 적용하도록 권장하였다.<sup>3)</sup>

### 2.1.2.1 일본의 항로 수심 기준

일본의 수심기준은 국내 규정과 같이 수심에 대해서 항내에서 최대홀수의 10%, 스웰이 없는 접근 항로에서는 최대홀수의 15%, 스웰이 있고 긴 항로에서는 20%의 항로 수심 규정이 있었다.

다만 추가적으로 항만을 이용하는 대상선박의 정확한 재원과 속력, 항해환경을 알고 있을 때는 정확한 수식 값  $D = d + D_1 + \text{Max}(D_2, D_3) + D_4$ 을 이용하도록 규정하고 있다. 홀수, Squat, 선체동요에 의한 침하량 및 여유수심을 모두 고려하여 계산하도록 규정하고 있다.

$D_4$  여유 수심에 대해서는 홀수가 10m이내인 선박에서는 0.5m, 10m이상인 선박에서는 홀수의 0.05배를 기준으로 하고 있다.

그리고 선석 수심도 국내규정처럼 최대홀수에 여유수심(UKC)를 고려하라고 하고 있지만 구체적으로 최대홀수의 10%라는 명확한 수치를 정해두고 있어 국내의 선석 수심 기준과의 차이를 보였다.

### 2.1.2.2 미국의 항로 수심 기준

미국의 수심기준은 우리나라 및 일본과는 달리 항로의 배치 및 천수와 Wave의 효과, Squat, Trim, 해수밀도, 저질(0.6~0.9m)등을 종합적으로 고려할 요소로 두고 이를 시뮬레이션 등의 방법을 추가하여 정하도록 하였다.

3) 항만 및 어항 설계기준·해설 부록 p.3-4

이 중 일본 및 미국과 국내의 수심기준을 비교한 것은 Table. 2.4와 같다. 그리고 PIANC에서 제시한 수심의 기준은 Table. 2.6과 같다.

**Table. 2.6** 일본 및 미국의 항만의 수심기준

일본의 수심기준	미국의 수심기준
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 항내 항로: <math>D=1.10d</math></li> <li>▶ 접근 항로 : <math>D=1.15d</math></li> <li>▶ Open water : <math>D=1.20d</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 다음의 요소를 고려하여 설계에 반영함</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 특정 경우(대상 선박의 크기, 항해환경, 선속 등을 대해 정확히 알고 있는 경우)</li> </ul> $D = d + D_1 + \text{Max}(D_2, D_3) + D_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>-항로의 배치</li> <li>-천수의 효과</li> <li>-Wave 효과</li> <li>-Squat</li> <li>-Trim</li> <li>-해수밀도</li> <li>-저질 등</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 선석 수심 : 최대흘수 + UKC</li> <li>▶ (최대흘수대비 10%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 특별한 규정 없음</li> </ul>

( $D$  : 수심,  $d$  : 선박흘수  $D_1$  : Squat,  $D_2$  : Heaving과 Pitching에 의한 선체침하량,  $D_3$  : Heaving과 Rolling에 의한 bilge 용골 침하,  $D_4$  : 여유수심)

### 2.1.2.3 PIANC의 항로 수심 기준

PIANC는 항내 항로와 접근 항로에 대해 선속별로 구분을 하였다. 선속 10kts이하에서는 1.10T, 10-15kts에서는 1.12T, 15kts이상에서의 1.15T의 대상선박 흘수 대비 항로 수심을 규정하였다.

이와 별도로 Swell에 따른 수심기준을 정해두고 있어 Swell이 낮은 경우 접근 항로에서는 1.15T~1.2T, 1-2m의 Swell에서는 1.2-1.3T, 2m이상의 Swell에서는 1.3-1.4T의 기준을 정하였다.

그리고 저질에 따라 0.4~1.0m를 추가 고려요소를 두고 있다. 국내의 규정에서도 저질을 고려하라는 내용은 있으나 구체적인 값이 없는 것에 비해 명확한 수치를 기준으로 정해놓았다.



**Table. 2.7** PIANC의 항만의 수심기준

선속	Swell 상태	저질	항내 항로	접근 항로
선박 관련 요소 $F_s$				
$\leq 10\text{kts}$	파도 없음		1.10T	
10-15kts			1.12T	
$> 15\text{kts}$			1.15T	
All	Low swell ( $< 1\text{m}$ )			1.15T-1.2T
	Moderate swell (1-2m)			1.2T-1.3T
	Heavy swell ( $> 2\text{m}$ )			1.3T-1.4T
추가적인 저질 종류				
All	All	Mud	None	None
		Sand/clay	0.4m	0.5m
		Rock/coral	0.6m	1.0m

(T : 흘수)

## 2.2 국내 항만 수역 현황

우리나라의 2015년 주요 항만 선박 및 입항 입 화물처리 실적 자료는 다음의 Table 2.3과 같다.

**Table. 2.8** 2015년 주요 항만 선박 입항 및 화물처리 실적

구분	입항선박 (비중, %)	전체화물 (비중, %)	액체화물 (비중, %)	컨테이너 (비중, %)
단위 Unit	척 ships	천톤 K ton	천톤 K ton	천TEU K TEU
합계	200,226(100.0%)	1,463,054(100.0%)	473,442(100.0%)	25,681(100.0%)
부산항	49,047(24.5%)	359,676(24.6%)	31,195(6.6%)	19,469(75.8%)
울산항	25,705(12.8%)	190,870(13.0%)	152,429(32.2%)	385(1.5%)
여수·광양항	24,117(12.0%)	272,007(18.6%)	125,637(26.5%)	2,327(9.1%)
인천항	18,766(9.4%)	157,624(10.8%)	53,700(11.3%)	2,377(9.3%)
대산항	7,560(3.8%)	78,514(5.4%)	63,670(13.4%)	105(0.4%)
포항항	6,722(3.4%)	61,501(4.2%)	388(0.1%)	91(0.4%)
평택·당진항	458(0.2%)	112,214(7.7%)	29,283(6.2%)	566(2.2%)
마산항	7,925(4.0%)	15,564(1.1%)	1,498(0.3%)	13(0.1%)
기타항	59,926(29.9%)	215,084(14.7%)	15,643(3.3%)	348(1.4%)

우리나라 항만 중에서 선박의 입항 척수와 물동량 1위인 항구는 부산항으로 나타났다. 입항 선박과 화물처리 실적에서는 약간의 차이를 보였다. 입항선박의 기준으로는 부산항-울산항-광양항-인천항 순이었고 화물처리 실적으로는 부산항-광양항-울산항-인천항 순이었다.

본 연구에서는 이 중 가장 선박의 입항이 잦고, 화물처리량이 많은 남동해안, 남서해안, 서해안의 항만들의 항만시설과 수역 현황을 확인하고, 이들 항만 및 항로상의 여유 수심에 대해 분석하였다.

남동해안은 입항선박 및 화물처리 실적이 높은 부산과 울산항, 남서해안에서는 광양 및 여수항, 서해안에서는 수도권에 인접한 인천과 평택항을 선정하였다.

## 2.2.1 남동해 항만

앞에서도 기술한 바와 같이 우리나라 항만 중 선박의 입출항과 물동량이 높은 항만은 부산항이었고, 울산항 역시 선박의 입항 및 화물처리가 높은 항만이다. 부산항은 여러 화물 중에서도 컨테이너의 취급이 가장 많은 항으로써 부산 북항을 중심으로 한 부산항과 대형 컨테이너선의 입출항이 잦은 부산신항으로 구성되어져 있고, 울산항은 케미컬, 탱커선 중심의 액체 화물이 주로 처리되는 항구이다.

### 2.2.1.1 부산항

#### (1) 항만시설

부산항은 북항, 감천항, 다대포항, 남항, 수영만, 남외항 및 신항으로 구성되어져 있고, 동시접안능력 201척에 컨테이너 부두만 53선석을 갖추고 있다. 또한 정박지는 총 21개소로 123척이 정박할 정박시설을 갖추고 있다.

**Table. 2.9** 부산항 시설현황 (출처 : 부산지방해양수산청)

시설구분	내용	규모	처리능력
접안시설	안벽	30,709.4m	접안능력 201척
	컨테이너 부두	53선석	2020년까지 계획
정박시설	정박지	21개소	123척 정박

부산항은 현재 북항재개발 및 추진 중인 신항 추가 부두시설 건설을 통해 21세기 동북아 국제 물류중심 항만으로 개발하고 부산항의 만성적인 화물적체 해소를 위해 1995년부터 2020년까지 부두 73선석, 그 중 컨테이너선 부두 41선석을 확보를 위한 건설계획을 가지고 있다.



Fig. 2.1 부산 신항 컨테이너 부두위치 및 개발계획평면도(출처 : 부산지방해양수산청)

부산항을 입항하는 대표적인 선종인 컨테이너 부두는 Table 2.8과 같이 주로 북항의 자성대, 신선대, 감만부두 부두와 신항의 북컨테이너 부두 및 남컨테이너 부두에 집중적으로 위치하고 있다. 신항은 2016년부터 2020년까지 남컨테이너 부두와 서컨테이너 부두에 추가적인 컨테이너 부두(총 19선석)를 건설할 예정이다.

10,000 TEU 이상의 대형 컨테이너선이 입항하는 신항의 수심 현황<sup>4)</sup>을 조사해보면, Fig.2.2와 같이 현재 건설중인 서컨테이너부두를 제외하고 북컨테이너부두, 남컨테이너부두의 부두 수심은 13.7 ~ 15.2m 이고 준설 수심은 15~18m이다. 현재 개발 중인 서컨테이너부두의 경우 2020년 완공을 목표로 준설수심 20m이상으로 건설 중이다.

부산신항의 항내의 수심은 15~17.8m이었고(Fig2.2 참조), 항로의 수심은 항로의 중앙의 경우 16~17.8m이었다(Fig2.3 참조). 하지만 항로의 좌측의 경우 16m이하인 15.1~15.8m로 항로 중앙에 비하여 상대적으로 낮은 수심이었다(Fig2.4 참조).

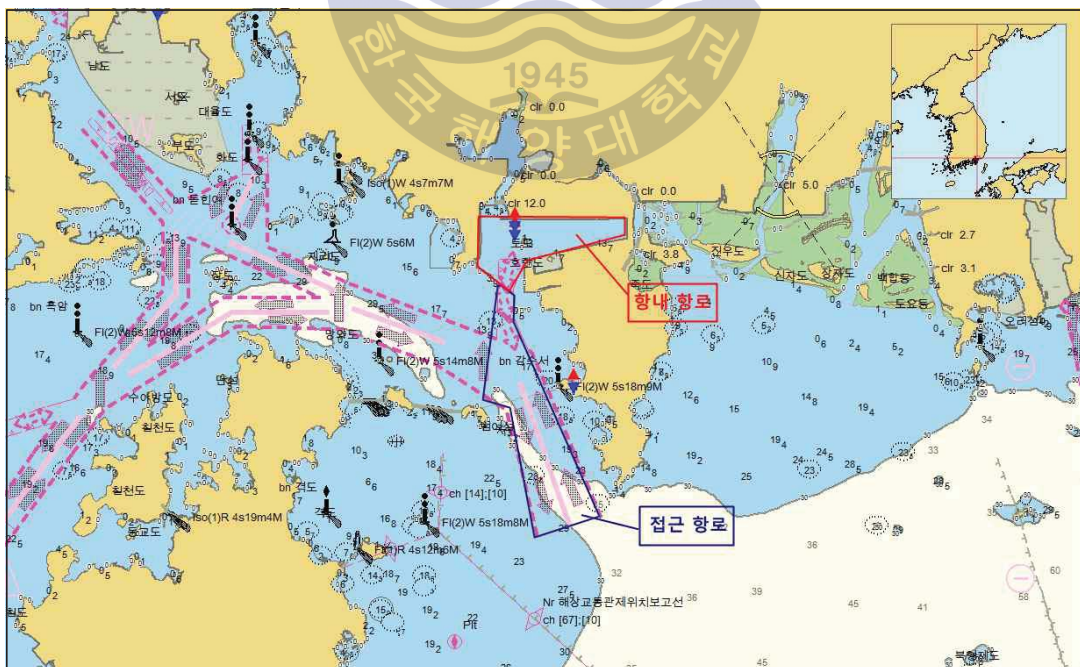
4) 행정용 전자해도 정보(국립해양조사원, 2016년6월3일)

**Table. 2.10** 부산 북항 및 신항 컨테이너 부두시설(출처 : 부산지방해양수산청)

구분	자성대	신선대	감만부 두	신감 만부두	PNIT (신항)	PNC (신항)	HJNC (신항)	HPN (신항)	BNCT (신항)
부두 길이 (m)	1,447	1,500	1,400	826	1,200	2,000	1,100	1,150	1,400
전면 수심 (m)	15	15~16	15	15	16	16~17	18	16~17	17
하역 능력 (천TEU)	1,700	2,000	1,560	780	1,380	2,730	1,600	1,600	1,920
접안 능력	5만톤급 4척 1만톤급 1척	5만톤급 5척	5만톤급 4척	5만톤급 2척 5천톤급 1척	5만톤급 3척	5만톤급 6척	5만톤급 2척 2만톤급 2척	5만톤급 2척 2만톤급 2척	5만톤급 4척

## (2) 항로 및 수심 현황

부산항 중에서도 신항은 대형 컨테이너선들의 입항이 잦은 곳이다. 이 신항은 2016년 )까지 항내를 17m로 준설할 예정이고 현재는 15-16m이다. 접근 항로에서는 최저 수심이 16m이었다.



**Fig. 2.2** 부산신항 및 부산신항 항로(자료출처 : 행정용 전자해도)



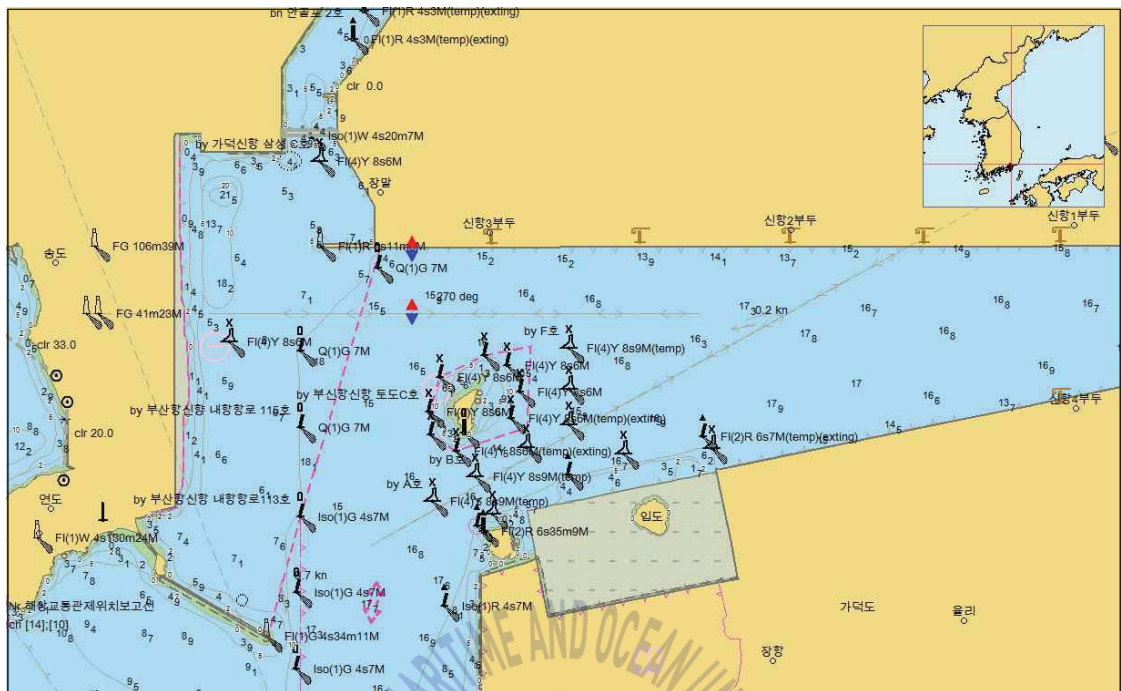


Fig. 2.3 부산신항 항내 및 선적 수심(자료출처 : 행정용 전자해도)

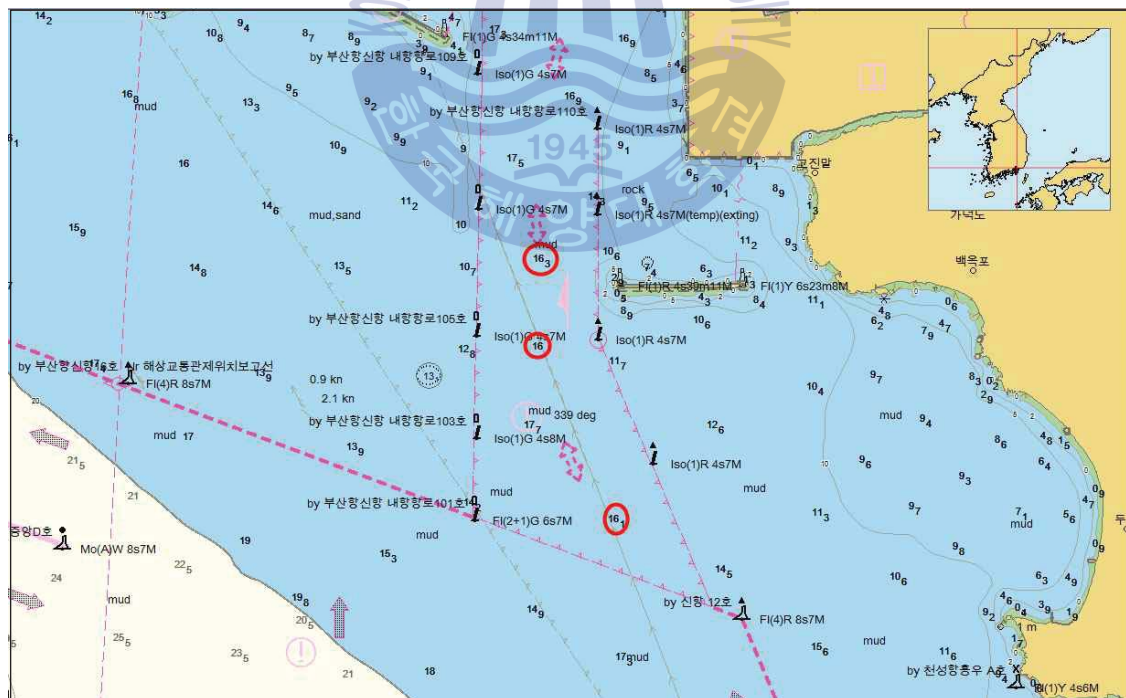


Fig. 2.4 부산신항 접근 항로 수심(항로 중앙 최소수심 16m)(자료출처 : 행정용 전자해도)

### 2.2.1.2 울산항

#### (1) 항만시설

울산항은 본항, 미포항, 온산항, 남항, 신항으로 구성되어져 있고, 동시 접안능력 115척에 컨테이너 부두는 울산 신항과 정일 부두에 갖추고 있다. 또한 정박지는 총 44척이 정박할 수 있는 정박시설을 갖추고 있다.

**Table. 2.11** 울산항 시설현황 (출처 : 울산지방해양수산청)

구분	안벽길이(m)	접안능력(DWT)	척수	하역능력(천톤)	야적면적(m <sup>2</sup> )
계	20,218	4,278,500	115	70,583	1,163,302
울산본항	10,085	1,818,500	61	32,028	593,254
온산항	5,073	1,457,000	32	15,984	95,000
미포항	210	20,000	1	987	-
신항	3,660	473,000	16	21,584	475,048

울산항은 2017년부터 2025년까지 동북아오일허브 사업을 추진 중에 있으며, 에너지 및 물류 중심의 항만으로 세계 속에서 거듭나려고 하고 있다. 동북아오일허브 사업에 따르면 북항과 남항에 정박시설을 10선석 추가로 건설하고, 2,840만 배럴을 추가로 저장할 수 있도록 석유저장 시설을 건설할 계획이다.

일반화물(철제, 잡화, 시멘트, 일반광물 등) 및 액체화물은 본항, 온산항, 미포항을 중심으로 접안시설을 갖추고 있다. 울산항의 컨테이너 부두는 울산신항의 4척 접안 가능한 울산 신항 컨테이너 부두와 온산항의 정일 컨테이너 부두(1척) 접안이 가능한 시설을 갖추고 있다. 이 중 울산항을 입출항하는 가장 큰 선박인 300,000 DWT 급의 VLCC가 접안할 수 있는 2개의 SK 부이가 있다.



Fig. 2.5 울산항의 정박시설(출처 : 울산지방해양수산청)

울산항에 입항하는 최대 크기의 선박은 300,000 DWT 급 유조선이고 이 유조선이 입항하고 있는 곳은 SK buoy(SPM : Single point mooring)이다. 이곳의 수심은 Buoy 근방이 23.5m이고 진입항로 중 가장 낮은 수심은 25m이었다. 대체적으로 수심은 25~41m이었다.(Fig. 2.6-7 참조)

## (2) 항로 및 수심 현황

울산항은 우리나라의 대표적인 액체화물을 다루는 항만이다. 그 중에서도 현재 가장 큰 선종인 VLCC 입항이 잦은 항구이다. 300,000 DWT급 탱커인 VLCC는 SBM(Single buoy mooring 또는 SPM : Single point mooring)이라는 Buoy에 접안하여 하역을 하고 있다. 항로의 수심은 보통 27-40m까지 타항구에 비해 깊었으며 접근 항로의 최저 수심은 25m이었다.

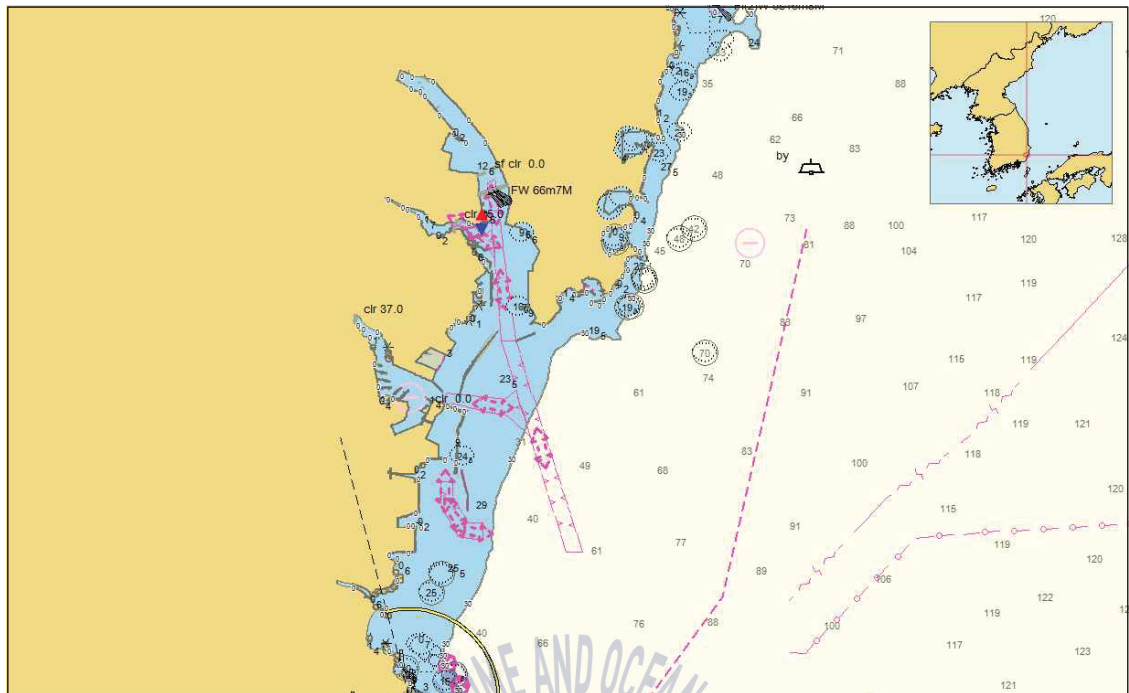


Fig. 2.6 울산항의 전경 및 항로(자료출처 : 국립해양조사원)



Fig. 2.7 울산항 SK buoy의 전경 및 항로(자료출처 : 국립해양조사원)



## 2.2.2 남서해안 항만

남해안에는 우리나라 제2의 컨테이너 부두인 광양항과 거대 원유 부두인 여수항이 대표적인 항구이다.

### 2.2.2.1 여수 및 광양항

#### (1) 항만시설

여수광양항은 남해군 남면, 서면 앞바다, 여수시 일부 (길이 35.7km, 폭 1.9~7.6km, 면적 186 km<sup>2</sup>, 수심 13~41m)에 자리 잡고 있다. 천혜의 조건을 갖춘 양항으로서 방파제 건설 없이도 정온 수역 유지할 수 있는 항만이다. 여수항은 관공선 및 물양장을 제외하고는 여객을 담당하는 크루즈부두가 건설되어져 있고 일반화물 및 컨테이너 화물에 대부분은 광양항에서 처리하고 있다.

광양항은 35개 부두에 97척이 접안할 수 있는 접안시설을 갖추고 있으며, 여수광양항의 정박 시설은 여수항 2척, 광양항 13척의 시설을 갖추고 있으며 항계밖에 거대선 정박지를 갖추고 있다.

Table. 2.12 여수광양항 시설현황(출처 : 여수지방해양수산청)

구분	접안능력	하역능력	정박능력	비고
여수항	2척(최대 150,000톤)	-	2척	크루즈부두 국제여객부두
광양항	97척(최대 300,000톤)	285,129천톤/년 4,600천TEU/년	13척	36개 부두
항계밖	-	-	외항 4개 집단구역 거대선 정박지 2개소	
계	99척	285,129천톤/년 4,600천TEU/년		

여수광양항의 접안시설은 여수항, 광양항 여천지역, 광양항 광양지역으로 구성되어져 있다. 이 중 컨테이너 부두는 광양항 광양지역에 위치하고 있다. 광양항은 부산항 다음으로 물동량이 많은 제2의 항만이며, 컨테이너뿐 아니라 다양한 일반화물 및 액체화물을 처리하는 접안시설을 갖추고 있다.

**Table. 2.13** 광양항 광양지역 일반부두(출처 : 여수지방해양수산청)

구분	부두연장(m)	수심(m)	접안능력 (DWT척)	하역능력 (천톤/년)	취급화물
CTS부두	262.5	15.0	30,000×1	48,555	석탄, 철광석
원료부두	1,800	15.0	30,000×1		
		18.1	200,000×2		
		23.5	250,000×2		
제품부두	1,980	14.0	50,000×1	9,277	철재(열연, 냉연)
		12.0	30,000×3		
		11.0	20,000×1		
		7.0	5,000×5, 3,500×1		
고철부두	270	14.0	50,000×1	1,550	고철
관리부두	103	5.0	3,000×1	583	크링카, 모래, 기 자재
RO/RO부두	380	12.0	30,000×1	2,879	코일
		14.0	8,000×1		
시멘트부두	930	9.0	10,000×5	8,568	시멘트
			5,000×1		
중마일반부두	420	11.0	20,000×2	1,538	잡화
태인부두	130	7.5	5,000×1	1,159	모래, 기자재
현대하이스코부두	170	12	12,000×1	1,009	철판(코일)
울촌일반부두	210	11	20,000×1	628	철제품, 잡화
소계	1,206	-	361.2천톤(4척)	13,564	-
LNG부두	420	14.0	82,200×1	3,000	LNG
후관RO/RO부두	116	-	9,000×1	1,429	철제품, 기자재
원료부두(6번)	370	18.1	200,000×1	7,018	철광석
원료부두(7번)	300	15.5	70,000×1	2,117	기타광석
컨테이너부두	5,100	16.0	50,000×2(일반) 50,000×10(컨) 20,000×4(컨)	1,542(일반) 4,600천TEU(컨)	컨테이너



Fig. 2.8 광양항 광양지역 접안시설(출처 : 여수지방해양수산청)

## (2) 항로 및 수심 현황

여수항의 GS 원유부두를 통해 300,000 DWT급의 탱커가 입출항하고 있다. 원유부두의 부두 앞 수심은 최저 수심이 22m이었고, 부두 주변 중 가장 낮은 수심은 21m이었다. 그리고 원유부두를 입항하는 대형 탱커를 위한 DW(Deep water) 항로 중에서 가장 낮은 수심은 22m이었다.

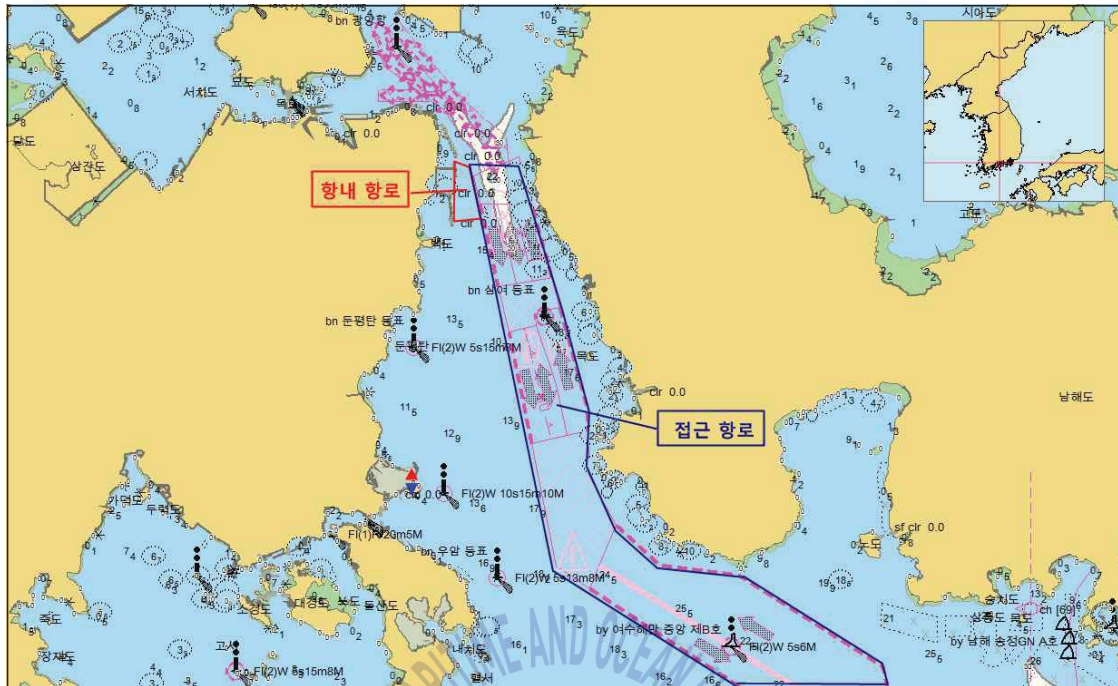


Fig. 2.9 여수 및 광양항 전경 및 항로(자료출처 : 국립해양조사원)

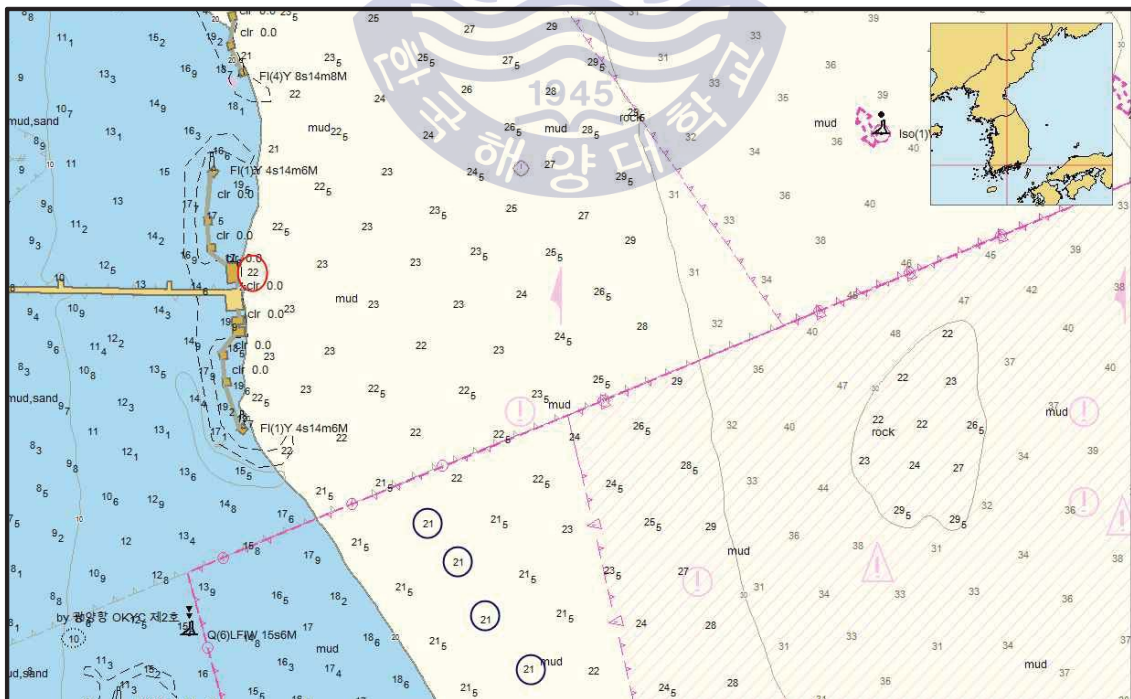


Fig. 2.10 여수 GS 원유부두 전경 및 항로(자료출처 : 국립해양조사원)



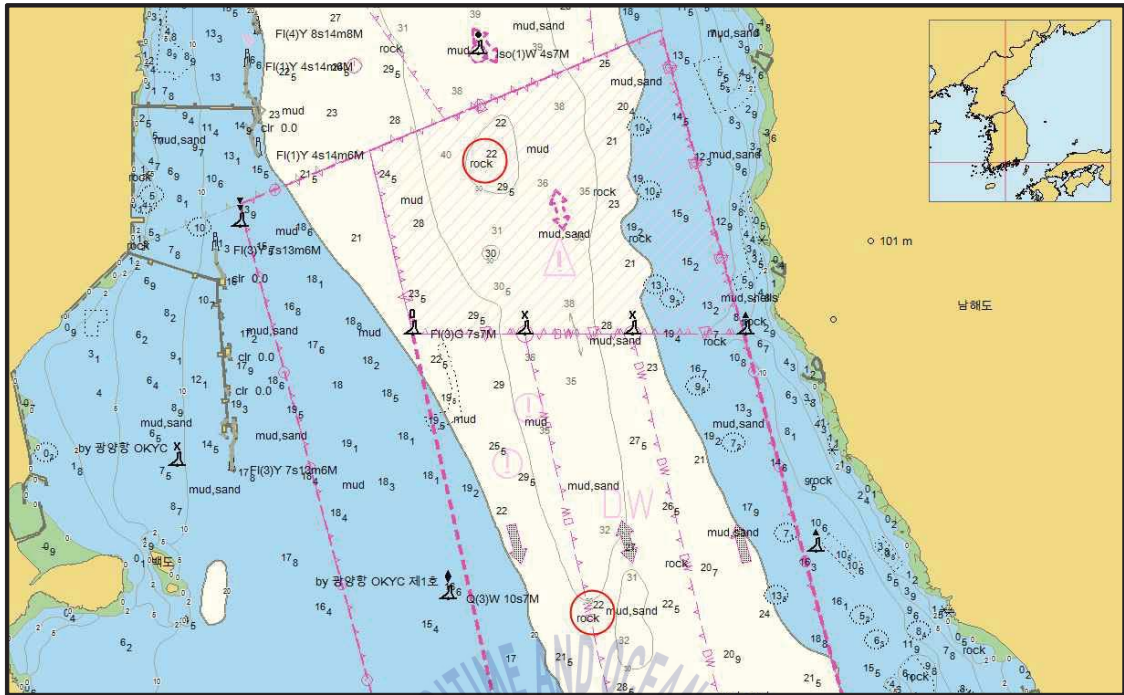


Fig. 2.11 여수항 전경 및 항로(자료출처 : 국립해양조사원)



Fig. 2.12 광양항 원료부두 전경 및 항로(자료출처 : 국립해양조사원)

여수 및 광양항은 대형선이 입출항 할 수 있는 DW(Deep Water) 항로가 따로 정해져 있다. 이 항로의 수심은 20.5~40m로 다양한 수심으로 구성되어져 있으며, 광양항 접근 항로는 대체

로 30m이하였다. 여수항 GS 원유부두 23~28m의 수심으로 되어 있으며, 광양항 원료부두 부근 항로 수심은 21.6~24.5m이었다.

## 2.2.3 서해안 항만

서해안에는 우리나라 종합 무역 항구인 인천항과 LNG 및 벌크선들이 입항하는 평택항이 있다.

### 2.2.3.1 인천항

#### (1) 항만시설

인천항은 서울의 관문으로서 항내가 평온하여 풍파가 적으며 겨울철에도 결빙의 염려가 없다. 갑문선거를 통해 50,000톤급 이하의 선박이 입항할 수 있다. 인천항은 북항, 내항, 남항, 신항 경인항 등으로 나누어져 있다. 2007년부터 2020년까지는 컨테이너 부두 중심의 인천신항을 개발하고 있다.

**Table. 2.14** 인천항 용도별 부두현황(출처 : 인천지방해양수산청)

취급화물 부두명	접안능력		부두길이(m)	하역능력	
	선박 규모(DWT)	선석(개)		BULK(천RT)	CONT(천TEU)
컨테이너	5,000 ~ 50,000	11	2,448.5	18,457	1,120
잡화	2,000 ~ 50,000	31	6,643	19,133	
목재	20,000 ~ 50,000	4	1,010	3,204	
자동차	50,000	2	590	6,122	
철재	2,000 ~ 50,000	14	3,211	11,092	
양곡	30,000 ~ 50,000	6	1,696	9,600	
석탄	100,000	1	240	3,639	
시멘트	10,000	4	762	4,896	
유류	500 ~ 330,000	18	3,761		
여객	4,500 ~ 15,000	6	1,184		
모래	2,000 ~ 50,000	17	1,827	20,672	
영흥화력	2,000 ~ 200,000	4	1,116		
기타	3,000 ~ 5,000	5	2,491		
계		123	26,979.5	96,815	1,120

#### (2) 항로 및 수심 현황

인천항에 입항하는 선박 중 가장 큰 선박 중 하나가 한국가스공사 LNG 부두에 입항하는 LNG선이다. 150,000m<sup>3</sup>급의 LNG선이 입항하고 있다. 인천항 LNG 부두 항로의 수심은 11.9~16.4m이다. 부두 앞 수심은 14.7m이상이었다.

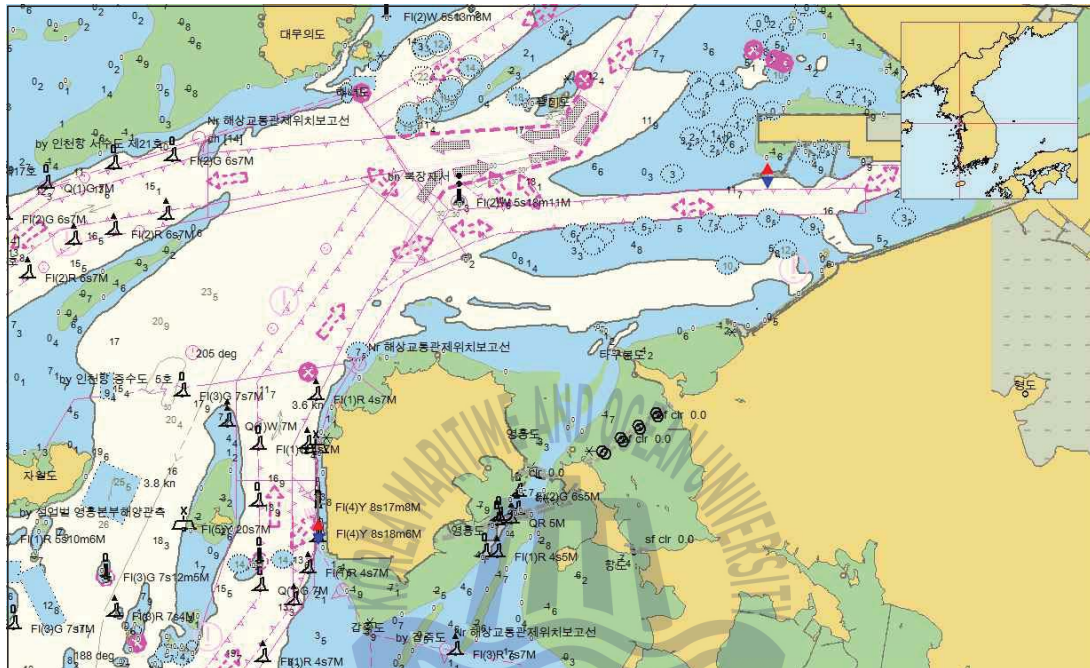


Fig. 2.13 인천항 전경 및 항로(자료출처 : 국립해양조사원)



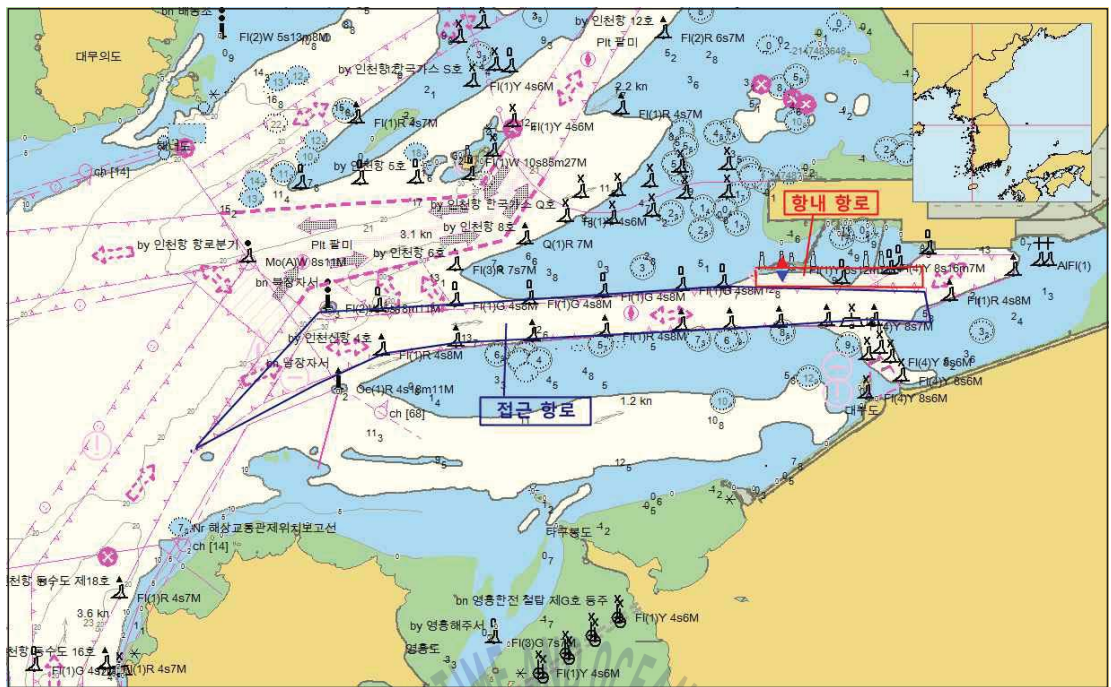


Fig. 2.14 인천항 LNG부두 및 항로(자료출처 : 국립해양조사원)

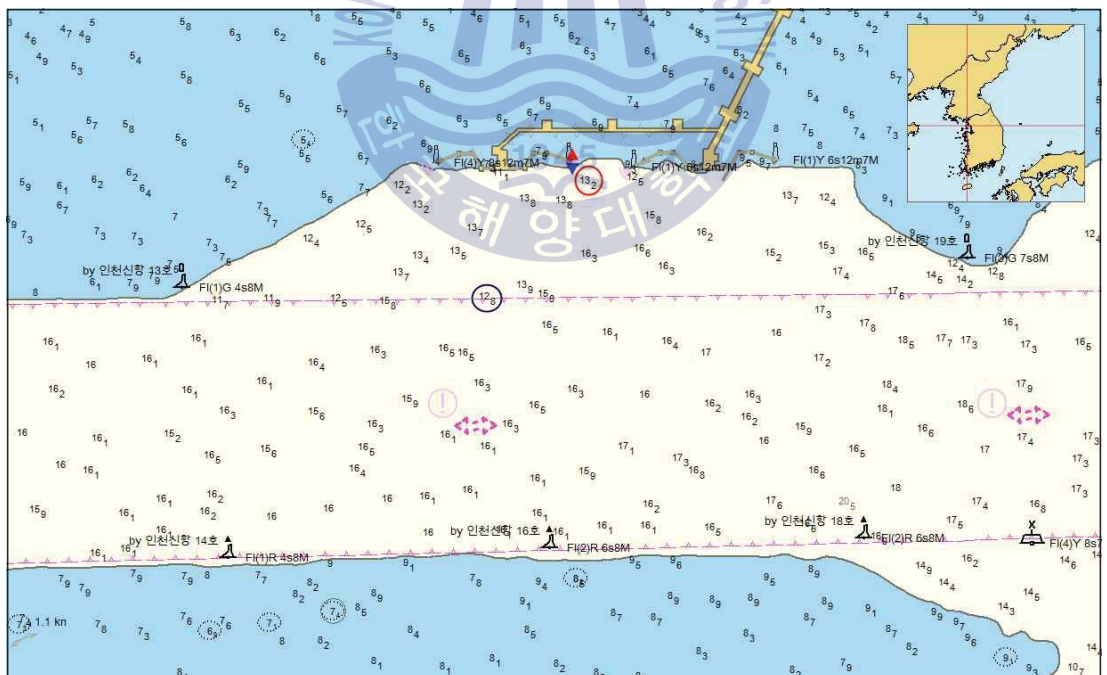


Fig. 2.15 인천항 LNG부두 전경(자료출처 : 국립해양조사원)

### 2.2.3.2 평택항

#### (1) 항만시설

평택항은 아산만 내측에 위치한 개항이자 무역항이다. 항 전면에는 호안이 3,798m가 축조되어 있으며, 송악부두, 고대부두, 서부두, 동부두 및 돌핀부두의 항만시설이 있다.



Fig. 2.16 평택항 부두배치 전경(자료출처 : 평택지방해양수산청)

송악부두는 13개의 선석이 있으며 철재, 석탄, 철광석 및 슬래그 화물을 처리하고 있으며 각 부두의 접안능력은 3,000~200,000 DWT까지 다양하다. 고대부두는 10개의 선석이 있으며, 철재, 잡화 및 액체화물을 처리하고 있다. 접안능력은 5,000~30,000 DWT이다.

동부두는 16개의 선석으로 구분되어지며, 자동차, 잡화, 철재 및 컨테이너 화물을 처리하고 있다. 30,000~50,000 DWT의 화물을 처리할 접안능력을 가지고 있다. 컨테이너는 2,000 TEU 7척이 동시 접안 가능하다. 서부두는 시멘트 및 잡화의 화물을 처리하며 30,000~50,000 DWT의 접안능력을 가진 9개의 선석을 보유하고 있다.

돌핀부두의 부두시설은 다음과 같다.

Table. 2.15 평택항 돌핀 부두현황(출처 : 평택지방해양수산청)

선식	안벽(m)	수심(m)	접안능력	하역능력	취급화물
한국가스공사 (2기)	420	11~14	70,000 , 1척 127,000, 1척	기당 4,200m <sup>3</sup> /h	LNG
한국석유공사 (2기)	360 160	14.6 5.6	55,000, 1척 5,000 척	기당 1,050m <sup>3</sup> /h 기당 340m <sup>3</sup> /h	LPG
SK가스(주)	360	15	70,000 1척	기당 1,000m <sup>3</sup> /h	LPG
한국서부발전(주)	204	13	50,000 1척	기당 600m <sup>3</sup> /h	병커C유
SP탱크터미널(주)	245	12	30,000 1척	기당 300m <sup>3</sup> /h	유지류

## (2) 항로 및 수심 현황

평택항 LNG부두 근방의 수심은 10m이하가 다수 존재하며, 최소 8.5m의 수심이 있다. 항로로 13.5~17.8m로 수심이 구성되어져 있으며, LNG 부두를 지나서는 11m의 저수심 구간도 존재한다.

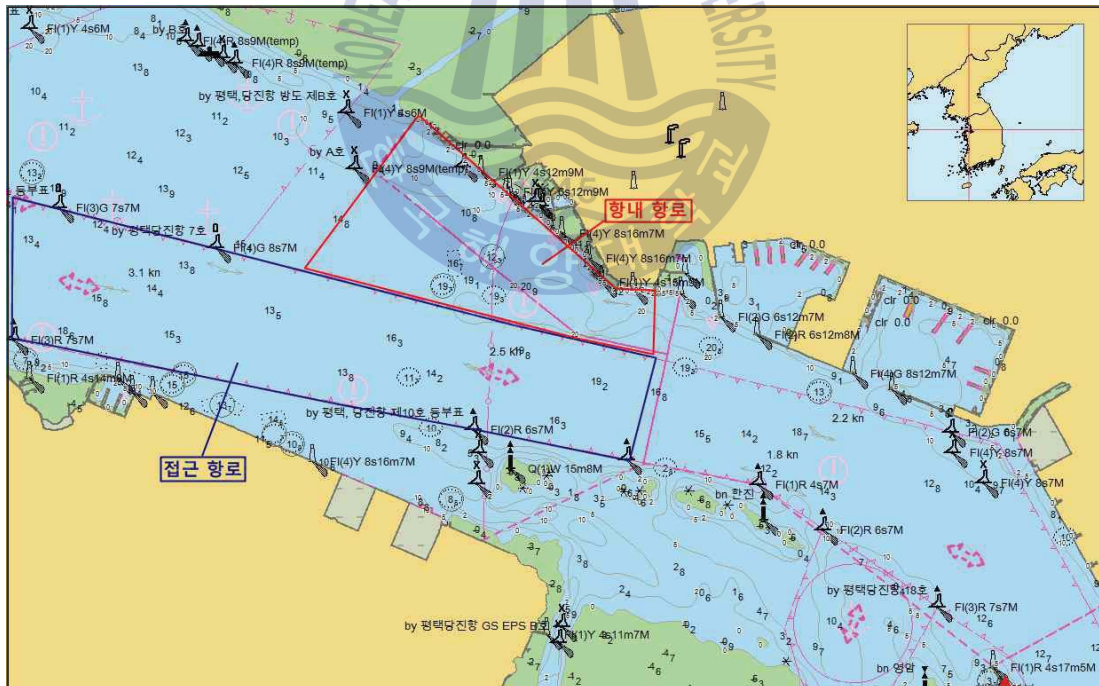


Fig. 2.17 평택항 전경 및 항로(자료출처 : 국립해양조사원)



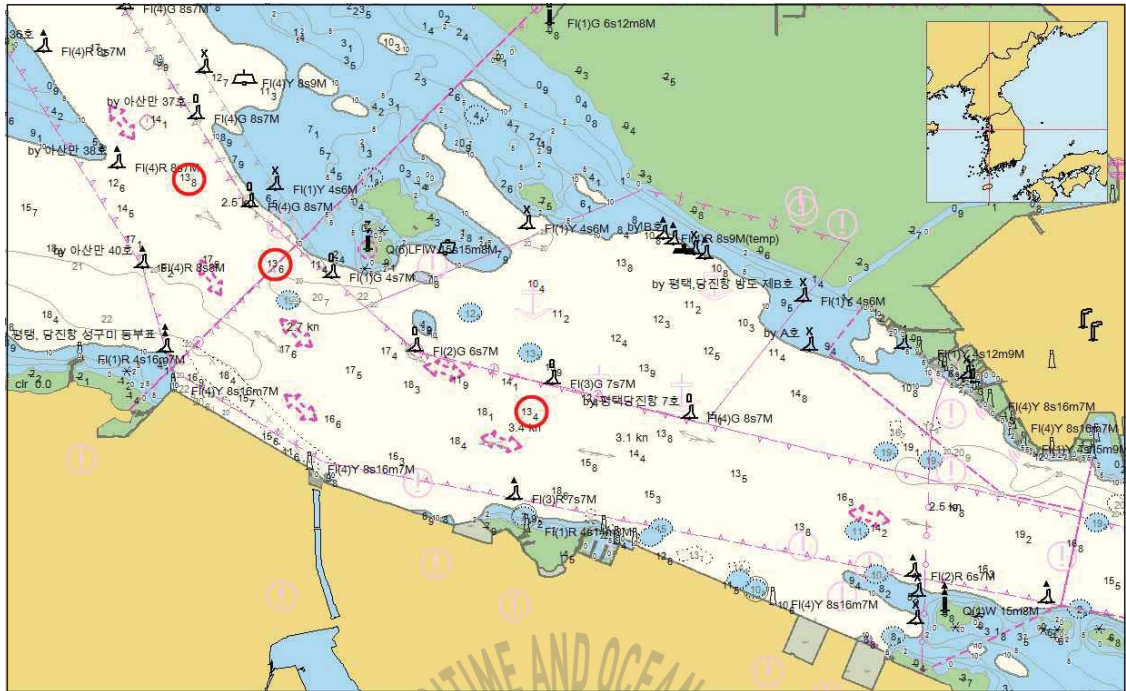


Fig. 2.18 평택항 LNG부두 및 항로(자료출처 : 국립해양조사원)

## 2.3 여유수심(UKC) 부족에 의한 좌초사고

본 연구는 앞에서 언급한 것과 같이 선박의 안전 운항을 위한 국내 항만의 여유수심에 대해서 분석하고자 하였다. 실제로 전세계적으로 유명한 좌초사고인 Queen Elizabeth 2호와 Desh Rakshak호의 사고를 조사, 분석하여 여유수심에 영향을 끼치는 요소가 무엇인지 살펴볼 필요가 있다.

두 선박의 좌초사고를 통해 선박의 선속의 증가에 인한 Squat 및 기타요소들을 간과하여 사고가 났음을 인지할 수 있다. 이를 통해 3장에서 안전수심 확보를 위한 고려사항에 대해 조사하고 본 연구에서 Squat를 통한 흘수 증가 및 이를 통한 안전 여유 수심에 대해 분석하였다.

### 2.3.1 Queen Elizabeth 2호 좌초사고

1992년 8월 7일 1824명의 승객과 1003명의 선원이 승선하고 있었던 영국 선적선 Queen Elizabeth 2호는 미국의 Cuttyhunk 섬 남쪽의 이전에 정확히 조사가 되지 않아 해도에 기입되지 않은 암석 때문에 좌초사고가 발생하였다. 이에 대한 미국해사조사위원회 보고서를 통해 당시의 사고를 조사하였다.<sup>5)</sup>

5) Report of the Investigation into the Grounding of Passenger Vessel Queen Elizabeth 2(Marine Accident Investigation Branch, 1993)



Fig. 2.19 Queen Elizabeth 2호

### 2.3.1.1 사고 개요

여객선 Queen Elizabeth 2호는 20시 33분 승객 1,824명과 승무원 1,003명을 태우고 닻을 올려 출항하였다.

도선사는 선장에게 Vineyard Sound를 향하기 전 선박이 Middle Ground와 Lucas Shoal의 북쪽에서 멀어질 수 있도록 26번 부이 쪽으로 향해야 한다고 알렸다. 선장은 이에 동의 했고 항해사는 타선박의 동향을 파악했다.

주위에는 Oak Bluffs와 Vineyard Haven, Woods Hole사이를 지나는 페리와 작은 선박들로 통항량이 많았다. 26번 부이 근처에서 선박은 237도로 코스를 돌렸다. 도선사는 비주얼 체크에 의해 항해하였고 조타명령을 직접 지시하였다. 선박의 통항량이 줄어들었고 21:20분 자동조타 모드로 전환하였으며 선박의 스피드는 25노트까지 점진적으로 올라갔다.

21시 44분, NA 부이를 우현 정황으로 통과하며 선박은 도선사의 지시에 따라 250도로 침로를 바꾸었다. 21시 48분에 위치를 확인하고 계획된 침로는 Browns Ledge의 북동쪽을 통과하는 것이었으나 도선사 및 선장과 상의하여 Browns Ledge의 남쪽으로 통과하기로 결정하였고 도선사의 지시에 따라 240도로 코스를 변경하였다. 선장과 도선사는 선박이 Browns Ledge의 남쪽방향으로 잘 지나고 있는 것을 확인하였다.

21시 58분, 선박은 빠르고 연속적인 두 차례의 강한 진동을 느꼈다. 일등항해사는 선장의 오

더에 따라 combinator handle을 0으로 맞추고 이항사는 레이더방위를 통하여 해도에 위치를 냈다. 엔진 컨트롤 룸에서 프로펠러의 피치가 알람과 함께 거의 20%까지 감소되었다고 알렸다. 선장은 ECR에 연락하였고 기관장은 프로펠러축이 144rpm을 유지하며 돌고 있으며 손상을 체크하겠다고 보고하였다.

이때의 해도에 표기된 수심이 약 12m이었다. 도선사는 레이더로 선박의 위치를 확인한 후 차트에 선박의 위치를 체크했다. 선장과 도선사는 선박이 해도에 표기된 수심보다 더 얇은 곳을 향해하고 있다는 결론을 내렸다.

22:01분, 선박은 6.8노트의 속도로 237도의 침로를 지키고 있었다.

잠시 후, 조타수는 선박의 조타기가 타효가 없음을 인지하였고, 선장은 타효를 주기위해 프로펠러 피치를 올려 스피드를 증가시켰다.

엔진룸 앞부분 터널에 있는 No.1 해수 이중저 발라스트 탱크의 파이프가 파손된 것이 발견되었고 물이 파이프에서 배출되는 것이 관찰되었다. No.1 해수 이중저 발라스트 탱크 파이프에 목제마개를 주입하고 해수의 유동을 막기 위해 발라스팅을 시작했다.

22:36분 도선사는 Point Judith에서 VHF 라디오를 통하여 USCG(United States Coast Guard)에 상황을 보고했다. 15번 청수 이중저 탱크도 가득 차있으며 압력을 받은 상태였고 청수탱크와 F.O 탱크 사이의 코퍼댐 역시 가득 차있었다. 또한 3번 홀드의 윗부분이 약간 찌그러져 있었다.

555명의 승객들은 일차적으로 SCHAMONCHI에서 하선하였고, 남은 승객들도 라이프보트를 통하여 8월 9일 02:20시 VIKING QUEEN과 SPIRIT OF NEWPORT에서 안전하게 모두 하선하였다.

### 2.3.1.2 원인 분석

퀸엘리자베스 2호는 두 번의 연속적인 좌초가 있었다. 최초의 좌초 위치에서는 최대 흘수가 10.6m 정도였고 두 번째 좌초에서는 10.4m정도였다. 좌초되었을 당시 해도에 기입되어있는 수심이 정확하지 않았다.

당시 각각 선수와 선미 흘수는 약 9.8m와 9.5m이었다. 날씨에 따른 흘수변화가 없었으므로 Squat에 의해 선수부 침하는 적어도 0.8m 정도 이었다.

당시 선박은 By the head 상태였으나 선장은 By the stern으로 Squat 양을 0.3~0.4m로 예상했다. 선박의 여러 상황에 대하여 Squat의 값을 너무 적게 잡은 것이다.

조석정보에 따르면 선장은 좌초당시 조석의 높이 또한 기준치보다 0.6m 정도 더 높을 것으로 오판하였다. 그러므로 이러한 사고의 원인은 해도보다 훨씬 얇았던 수심과, 조석의 오판, Squat에 대한 과소평가 등에 있다.



퀸엘리자베스 2호가 좌초되었을 때 주변에 인접한 수심 정보들은 1939년 US Coast and Geodetic Survey에 의한 것이다. 이는 NOAA나 BA해도에는 이러한 알림이 표기되어있지 않다.

해도 몇 개는 최근의 미국 정부 해도로부터 얻은 데이터가 표기되어 있지만 해도에는 미국 정부 해도로부터 기초되어있다고 적혀있지 않다. 이러한 조사데이터의 정보 결여 때문에 선장은 해도의 안전성을 평가하는데 능력이 제한적이었다. 그러나 해도의 수심정보가 정확했다고 하더라도 선장과 도선사는 Sow and Pigs Reef의 남쪽지역을 피하여 항해하여야함을 인지했어야 한다.

출항하기 전 도선사는 NA Buoy를 통과하고 난 후 항해사와 항해계획에 대해 충분히 상의하지 않았다. 이러한 상의는 선박의 계획된 항로계획과 도선사 자신의 계획에서 다른 부분을 보일 수 있기 때문에 꼭 이루어져야한다. 선박이 원래 계획한대로의 항해를 엄격히 따랐다면 선박은 좌초 위치를 지나지 않았을 것이다. 또한 선장이나 도선사 또는 당직 항해사 어느 누구도 수정된 선로가 약 11.7m로 수심에 근접하여 지나갔음을 알지 못했다.

25노트의 속력이 안전하다고 결정함에 있어 도선사의 동의도 있어야 하지만 선장은 출항 항로계획에서 Squat에 대한 완전한 이해, 해도에 기입된 정보의 불확실성, 또 예견되는 조석의 높이를 모두 고려하여야 한다.

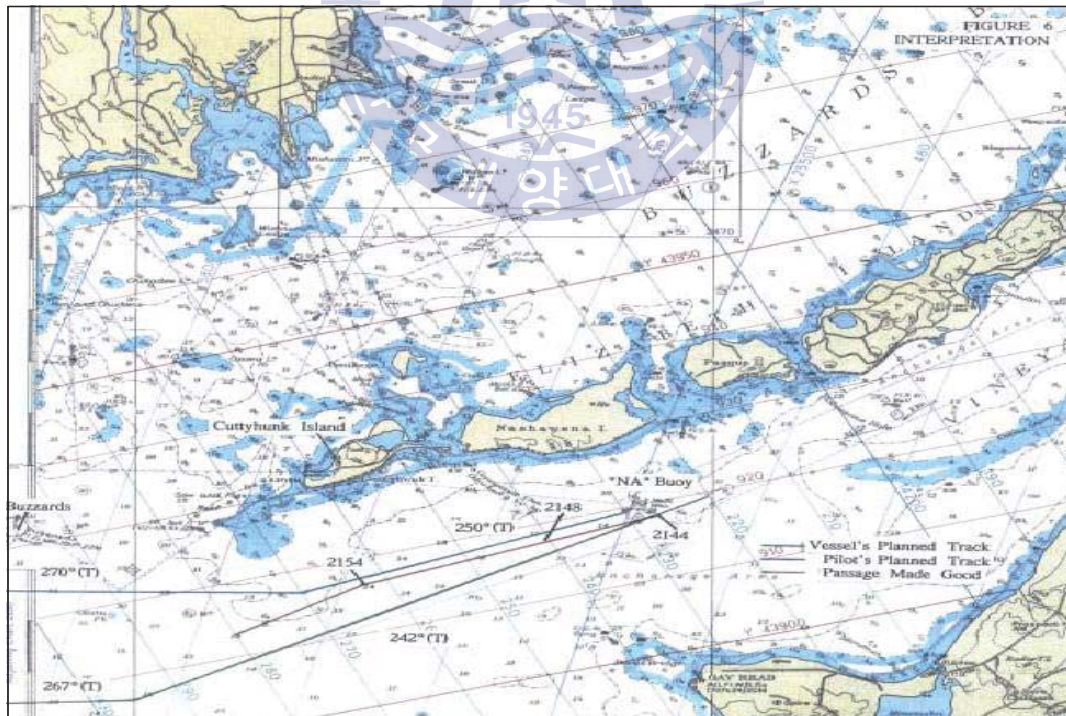


Fig. 2.20 Queen Elizabeth 2호의 항해계획 항로(하단)와 실제 항로(중상)



### 2.3.2 Desh Rakshak호 좌초사고

2006년 1월에 Desh Rakshak호가 Port Phillip항 입항 중 좌초사고가 발생하였다. 이에 대해 “Australian Transport Safety Bureau”에서 나온 조사 보고서를 인용하여 당시의 사고를 살펴 보았다.<sup>6)</sup>



Fig. 2.21 Desh Rakshak호

#### 2.3.2.1 사고 개요

Desh Rakshak호는 2006년 1월 2일 80,000톤의 원유를 적재하고 시드니를 출항하여 4일 아침 필립항에 도착하였다. 당시 선박은 11.5m의 흘수로 등흘수(Even keel) 상태였다.

0800시, 멜버른 외항 묘박지로 가기 위해 도선사가 승선하였고 선교에서 파일럿 카드(Pilot card)를 받았다. 도선사는 선수 부근의 조류의 흐름과 통과하는 동안 강한 간조에 영향을 받을 수 있음을 선장에게 설명했다. 썰물의 흐름은 항의 입구를 통과할 때 배가 동쪽으로 향할 수 있음을 의미했다. 도선사는 입항을 위한 의도를 설명하고 가능한 조류의 흐름을 피해 Great Ship Channel의 서쪽방향으로 선박을 유지하였다.

도선사가 Lonsdale Signal Station에 입항을 위해 보고하였고 Rip Bank와 Hovell Pile의 고조에 대해 물었다. 당시 조수는 1.1m이었으며 해도의 수심기준점보다 각기 0.8m 높았다. 도선사는 Great Ship Channel과 South Channel을 통과할 동안의 UKC는 3.5m가 안 될 것으로 계산하였다.

SSW방향의 20~25노트의 바람과 함께 계속되는 길고 낮은 거친 너울로 인해 선미가 파도를 따라 움직이며 요잉과 롤링으로 인해 약 5도의 경사가 있었다. 조류는 5~6노트로 도선사의 예

6) ATSB TRANSPORT SAFETY INVESTIGATION REPORT NO.223(Australian transport safety bureau, 2006)

상보다 빨랐다.

선박이 325도로 Lonsdale 홍색 등대를 지나면서 도선사는 도등 중 위쪽 등이 서쪽에서 보임을 확인했고 선박이 Great ship channel의 서쪽 끝 쪽에 위치해있음을 확인했다.

선박은 1154시의 투묘 전까지 별다른 사고 없이 항로를 통과했고 도선사는 곧 하선했다. 승선해있는 승무원 중 누구도 도선 중 선박이 좌초됐었다는 것을 알아채지 못했다.

1245분 경 본선의 일항사가 하부의 Fore peak탱크의 평형수(Ballast)의 수위가 차오른 것을 발견, 즉시 선장에게 보고하여 탱크 내에 있는 물을 퍼내 조사했다. 탱크가 거의 비었을 때쯤 탱크의 외판(Shell plating)에 파공이 드러났다.

### 2.3.2.2 원인 분석

1월 4일 아침 도선사가 선박의 UKC를 계산하였을 때 그는 선박이 Treat Ship Channel을 통과할 것으로 생각했다. Great Ship Channel의 수심은 14m로 0800기준 해도기준면에서의 차는 1.1m 이상이였다. 즉 0800 기준 최소 수심은 15.1m가 된다. 선박의 흘수가 11.5m 이기 때문에 도선사는 선박의 UKC를 약 3.6m로 계산 했고 선장에게 본선의 UKC는 적어도 3.5m는 될 것이라고 알렸다. 선장은 도선사의 계산에 아무런 의문도, 어느 평가도, 자신이 직접 계산하여 올바른 계산이었는지 확인하지도 않았다.

도선사는 계산한 바에 따라 3.5m 정도의 UKC면 충분하다고 생각했고 더 이상의 계산을 행하지 않았다. 그는 선박의 운동과 Squat의 조합이 선박이 항로를 통과하는 동안 UKC의 감소에 상당한 영향을 줄 것이라고 생각하지 않았다.

Squat는 천수구역에서 선박이 움직임에 따라 발생한다. 벤츄리 효과(Venturi effect)에 의해 선저와 해저사이의 유속이 증가되고 선저부의 유체속도가 빨라지면 압력이 낮아진다. 이로 인해 위로 향하려는 수압과 선박의 질량으로 인해 가라앉으려는 힘이 다시 평형이 될 때까지 선체는 가라앉는다. 따라서 선박의 흘수는 사실상 증가하고 선체의 변형을 주며 트림이 변화하게 된다.

Squat는 많은 좌초 사고의 주요 원인이 되는 현상으로 잘 알려져 있다. 가장 널리 알려진 기록은 1992년 8월 퀸엘리자베스 2세와 관련이 있다. 당시 퀸엘리자베스 2세는 미국의 매사추세츠의 연안에서 떨어진 Vineyard Sound를 건너고 있었다. 선박이 높은 스피드로 항해하고 있었기 때문에 Squat는 예상보다 더욱 컸다.

2006년 1월 4일, Desh Rakshak에 승선한 도선사는 선저침하현상에 대해서 고려하지 않았다. 그 당시 선박은 이미 Point Lonsdale에 정형해 있었고 스피드 또한 8노트 정도밖에 되지 않았다. 선체가 침하되는 양은 선체를 통과하는 물의 속도와 관련이 있는데, 이는 대수속력이다. 5~6노트의 조류가 흐르고 있었으므로 전속 항해시 대수속력은 약 13노트나 된다. 선박의 항해

계획에서 이러한 상황에서 선박의 흘수는 선저침하로 인하여 적어도 1.35m 증가될 수 있음을 나타낸다.

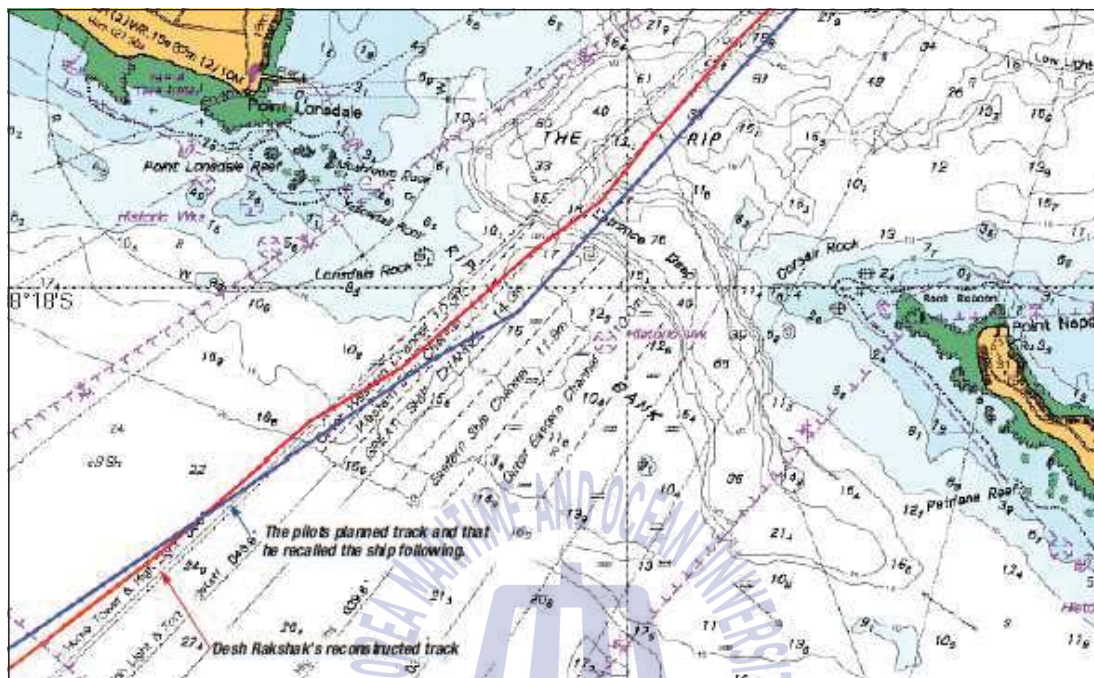


Fig. 2.22 Desh Rakshak호의 항해계획 항로(파란선)와 실제 항로(적색선)

선박의 항해 계획에서는 경사로 인한 선박의 흘수 증가 또한 보여준다. 1월 4일 Desh Rakshak호의 항로 입구의 통과 중에 선박의 경사는 없었으나 선체는 약 5도가량 천천히 롤링하고 있었다. 선박이 5도 가량 롤링 했을 때 흘수에 미치는 효과는 최대로 기울게 될 때 5도의 경사를 가진 것과 같다. 경사하였을 때나 롤링 할 때나 5도의 기울기는 선박의 최대 흘수를 1.8m까지 증가시킬 수 있다.

정확한 파도 데이터가 없는 한 선박의 흘수에 대해 추정할 수는 없지만, 어느 정도 선박의 흘수를 증가시키는 데 영향을 끼친다.

이러한 여러 복합적인 조건과 강한 조류의 흐름을 고려하면 필립항을 통과하는데 필요한 선박의 최대 흘수는 적어도 14.65m 이다. 14.65m의 최대 흘수는 해도기준면의 조고 1.1m 높이를 포함하여 계획된 Great Ship Channel을 통과하기 위한 충분한 UKC를 허용할 것이나 실제로 최소 수심 각각 12.5와 11.4m인 Western 과 Outer Western Channel을 통과할 당시 선박의 UKC는 부족하였다.

Desh Rakshak호에는 필립항에 입항하기 위한 경사나 롤링, 피칭에 대한 공인된 테이블이 없었다. 이러한 정보들이 과거에 임의로 판단하여 사용되었었다.

## 제 3 장 안전수심 확보를 위한 고려사항

### 3.1 UKC 요소

UKC와 관련된 안전 수심(Safety depth; S.D)은 다음과 같이 정의된다.

$$S.D = \sum_{i=1}^3 F_s = F_1 + F_2 + F_3 \quad (3.1)$$

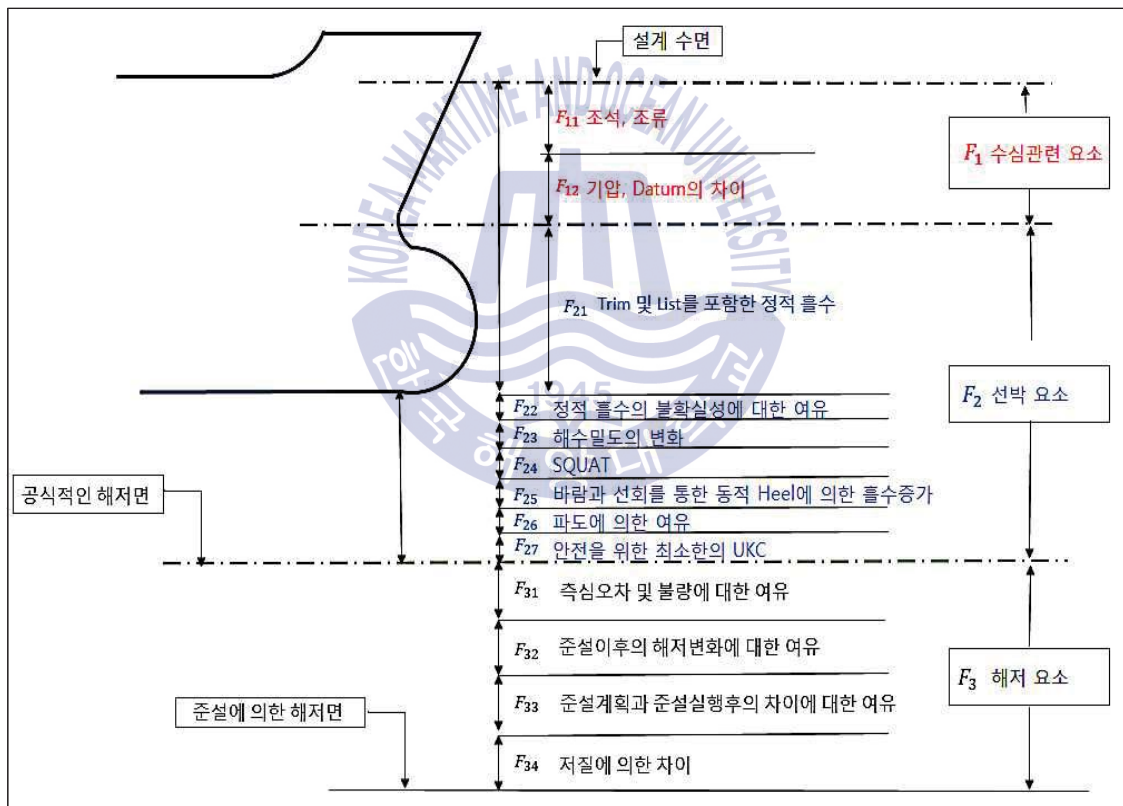


Fig. 3.3 UKC 요소

#### 3.1.1. 수심관련 요소

Fig 3.3에서  $F_1$  요소는 수심관련 요소이다. 이 요소는 다음과 같이 구성된다.



$$F_1 = F_{11} + F_{12} \quad (3.2)$$

$F_{11}$ 은 조석과 조류 요소이다. 조석은 일반적인 해도 수심인 기본수준면의 높이에서 당시의 조석에 따라 변화하는 요소이다. 통상적으로 대형선들은 충분한 UKC 확보를 위해 고조를 맞추어 입항하게 된다. 조류 역시 선박들의 입출항에 맞추어 적절한 조류를 선택하게 된다.

$F_{12}$ 은 Datum 및 기압 요소이다. 각 국의 수로국에서 발행하는 해도의 Datum의 차이에서 발생할 수 있는 수심의 차이뿐만 아니라 기압이 1013mb를 기준으로 1mb가 증가할 때마다 수심은 1cm씩 낮아지는 것으로 알려져 있다.

### 3.1.2. 선박 요소

Fig 3.3에서  $F_2$  요소는 선박관련 요소이다. 이 요소는 다음과 같이 구성된다.

$$F_2 = F_{21} + F_{22} + F_{23} + F_{24} + F_{25} + F_{26} + F_{27} \quad (3.3)$$

$F_{21}$ 은 Trim 및 List를 포함한 정적 흘수 요소이다. 선박이 입항 및 통항을 위해 선박에서 알고 있는 흘수를 말한다.

$F_{22}$ 는 정적 흘수에 대한 불확실성에 대한 여유이다. 이는 선박이 통상적으로 출발항에서 측정한 흘수가 도착항에서도 똑같지 아닐 수도 있고 흘수 마크에 부정확성, 정확한 흘수값 측정의 어려움 등의 요소가 있어 이에 대한 여유를 고려해야 한다.

$F_{23}$ 은 해수 밀도의 변화에 대한 요소이다. 흘수를 측정했을 때의 해수의 밀도와 도착항의 밀도에 의한 차이로 인해 변화하는 흘수값이다. 특히 선박이 담수 구역(Fresh water)에 진입할 때는 밀도의 변화에 의해 흘수는 증가하게 된다. 일반적으로 담수에 진입하게 되면 해수 구역과 비교하여 2-3%의 흘수가 증가한다.

$F_{24}$ 는 Squat(선체침하현상) 요소이다. Squat는 선박이 앞으로 진행하면서 선저의 여유수심(UKC)를 잃는 현상을 말한다. 전체적인 선체침하는 물론 선수나 선미의 Trim을 발생시키는 현상이다. 이는 베르누이의 정리에서와 같이 유체의 속력이 선체의 선저 중앙부에서 빨라지면서 압력이 낮아져 선체가 침하하게 되는 것이다. 특히 이러한 Squat 값은 선박의 속력이 증대하면서 빠르게 증가하게 된다. UKC와 관련된 여러 요소가 있지만 가장 큰 영향을 끼치는 요소라고 할 수 있다. 그래서 본 연구에서는 타 요소를 일정한 값으로 정하고 선박의 속력이 증대하면서 증가하는 Squat 값에 의한 여유 수심이 줄어드는 것을 바탕으로 계산을 하고 분석하였다. 이에 대해서는 3.2장에서 자세히 다루도록 하겠다.

$F_{25}$ 는 바람과 선회에 의해 발생하는 Heel에 의한 흘수 증가 요소이다. 선박이 선회를 할 경우 선박의 속력, 메타센터의 높이, 분당회전률(Rate of turn), 예인선의 힘 등에 의해 Heel이 발생하게 된다. 그리고 바람과 조류 등에 의해서도 Heel이 발생한다. 특히 선체 측면으로의 정형의 바람이 불 때는 Heel의 값이 커지게 된다.

$F_{26}$ 은 파도에 대한 여유 요소이다. 잠재적으로 큰 요소로서 특히 노출된 항로 등에서 거대한 파도를 마주칠 경우 증가할 수 있다. 선박이 파도를 맞게 될 때 Heave, Roll 그리고 Pitch의 선체운동을 일으키게 되고 이로 인해 흘수가 증가하는 효과가 발생한다. Heave와 Pitch는 선수파와 추종파에 의해 크게 발생을 하게 되고, Roll은 선미 Quarter에서 오는 파와 횡파에 의해 큰 영향을 받는다. 이런 Heave, Roll 및 Pitch의 주기는 다음의 간단한 식에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{Heave : } T_H &= 10\sqrt{\frac{T}{g}} \\ \text{Roll : } T_\phi &= \frac{2.5B}{\sqrt{g(GM)}} \\ \text{Pitch : } T_\theta &= \frac{2.0L_{pp}}{\sqrt{g(GM)}} \end{aligned} \quad (3.4)$$

$F_{27}$ 은 안전을 위한 최소의 UKC 요소이다. 선체 용골과 공식적인 해저면과의 최소한의 여유 수심이다.7) 여러 선박관련 요소( $F_2$ - $F_{27}$ )에 의해 증가하는 흘수에 대해 최소한의 여유를 고려한 최소의 UKC이다. 이 요소에 대해서는 여러 값이 있겠지만 ICORELS에서는 적어도 0.5m, 저질이 바위 등일 때는 1.0m를 권고하고 있다. 일본의 항만설계지침에서는 흘수 10m이상인 선박에서는 0.5m, 흘수가 10m를 초과하는 선박은 흘수의 0.05배를 최소의 UKC로 확보할 것을 권고하고 있다.

### 3.1.3. 해저 요소

Fig 3.3에서  $F_3$ 은 해저 요소이다. 이 요소는 다음과 같이 구성된다.

$$F_3 = F_{31} + F_{32} + F_{33} + F_{34} \quad (3.5)$$

$F_{31}$ 은 측심오차 및 측심불량에 대한 여유 요소이다. 해도 상에 표시된 수심이 정확하게 측정되었는지, 측정할 때의 측심기의 오차가 발생할 수 있는 여러 요인들을 고려한 여유 요소이다.

7) ICORELS(1980)

$F_{32}$ 는 준설 이후의 해저변화에 대한 여유 요소이다. 준설을 할 때 준설 이후에도 침전물이 발생하여 준설 수심보다 낮게 되는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 변화에 대한 여유를 고려해 볼 필요가 있다. 이런 침전물을 고려하여 적정한 시기마다 준설 수심을 유지하기 위한 재준설을 고려해야 한다.

$F_{33}$ 은 준설계획과 준설실행후의 차이에 대한 여유 요소이다. 준설을 실시할 때 원하는 만큼 평평하게 준설이 되지 않을 경우도 발생할 수 있다. 이러한 미세한 차이에 대한 여유를 고려해야 한다.

$F_{34}$ 는 저질에 대한 요소이다. 국내 항만 설계기준에도 저질에 대해 고려해야 한다고 나와는 있지만 구체적으로 저질의 종류에 따라 어느 정도를 고려해야 하는지에 대해 기준이 설정되어 있지 않다. 하지만 미국에서는 Soft한 저질의 경우에는 0.6m, Hard한 저질의 경우는 0.9m를 추가한 UKC 확보를 권고하고 있으며, PIANC에서는 Sand 및 Clay 저질의 경우 0.4-0.5m, Rock 및 Coral의 경우는 0.6-1.0m를 추가로 확보할 것을 권장하고 있다.

### 3.1.4. 계산조건(요소별 검토 요소)

앞에서 언급한 UKC의 구성요소 중 불확실성 요소 및 각종 여유 요소들은 실제 정확히 측정하기 불가능한 것들이 다수 있다. 그리고 Heel의 증가 등은 입출항 및 통항할 때 마다 기상상태가 지속적으로 변화하기 때문에 정확히 알지 못하여 구하기 힘든 요소가 있다.

그래서 부산항을 표본 기준으로 최근 30년 동안의 평균기압, 평균풍속 등의 자료를 조사하여 계산 가능한 UKC 요소를 산출해 보았다.

Table. 3.1 부산항 평균기압 및 평균풍속(1981~2010년)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
기압 (mb)	1022.4	1021	1018.5	1015	1011.5	1008.2	1007.4	1008.5	1013	1018	1021.2	1022.6	1015.6
풍속 (m/s)	3.7	3.8	4	4	3.6	3.3	3.8	3.7	3.6	3.3	3.4	3.6	3.65

$F_{12}$ 에서 기압의 영향으로 인해 1013mb를 기준으로 1mb가 증가할 때마다 1cm의 수심이 감소하는 영향을 끼친다. 부산항 30년 평균이 1015.6mb이므로 1013mb를 기준으로 2.6mb가 증가하였다. 즉 기압에 의해 UKC가 2.6cm(0.026m) 감소함을 알 수 있다.

풍속은 부산항 30년 평균 3.65m/s로 이는 7.1kts로 Gentle breeze에 해당하는 풍력계급 3이



었다. 이 풍력계급에서의 파고는 0.6m이었다.

이 풍속에서는 선체의 Heel을 형성하게 하는 큰 바람이 아니었으며, 이때의 파고에 의한 UKC는 0.3m 정도 감소함을 알 수 있었다.<sup>8)</sup>

그리고 해저 요소 중 UKC에 큰 영향을 끼치는 저질은 국내 항만 대부분이 Mud로 되어 있어 저질의 종류에 의한 UKC 감소 요소가 되지 않을 것임을 알 수 있었다.

결론적으로 부산항의 30년 평균의 기상으로 보았을 때는 약 0.33m의 추가적인 UKC를 확보해야 하므로 불확정 요소들을 종합적으로 고려하여 이번 연구에서는 Squat를 제외한 안전 UKC를 0.5m로 설정하였다. 0.5m로 설정한 이유는 PIANC, ICORELS 및 일본 항만 설계기준에서 최소한의 안전 UKC를 0.5m로 권고하고 있어 앞에서 살펴본 부산항의 평균적인 기상상태를 기준으로 한다면 최소 안전 UKC에 부합할 것으로 판단되었다.

그래서 본 연구에서는 UKC 구성 요소 중 다음의 계산 조건을 설정하여 분석하고 결과를 도출하였다.

Table. 3.2 UKC 구성 요소 중 계산 조건

구성요소	계산 적용 유무	Remark
$F_1$ 수심관련 요소	(○)	$F_{11}$ 조석 관련 일부 적용
$F_2$ 선박요소	(○)	$F_{24}$ Squat 적용 나머지 Factor는 $F_{27}$ 의 요소로 포함하여 일괄적으로 0.5m 적용
$F_3$ 해저요소	X	-

본 연구에서는 UKC에 가장 큰 영향을 끼치는 Squat를 계산 속력별로 분석하고 이에 추가적으로 0.5m 최소 안전 UKC를 적용하여 계산, 분석하였다.

그리고 통상적인 선박들의 입출항시 조석을 이용하여 입항하므로 Squat 계산시 조석을 고려하여 추가적으로 계산하고 분석하였다.

## 3.2 Squat의 공식과 특징

### 3.2.1. Squat 공식

8) “항만 및 어항 설계기준 1-2-4 항로수심” 파랑에 의한 선박의 동요는 선박의 전장, 폭, 속도, 파고, 파장 등에 따라 정해지지만, 동요에 대한 여유수심은 일반적으로 소·중형선의 경우는 파고의 2/3, 대형선에서는 1/2을 보고 있다.

본 연구에 사용한 Squat 공식은 PIANC에서 제시한 범용적이고 가장 신뢰성 높은 7가지의 최대 Squat에 대해 물리적 모델 테스트나 모든 항로 형태의 선박 및 선적 특성이 다를 때를 적용한 공식이다. 그리고 실제 항만설계 등에 제안되고 사용되어지는 공식으로 모두 선박의 Squat를 계산의 일부분으로 선체침하와 동적 트림을 포함하고 있다.

이장에서 Squat 공식은 PIANC에서 제시한 내용을 바탕으로 기술하였다. 모두들 기본적으로 meter 단위를 바탕으로 하고 있지만 Barrass3의 공식은 선박의 스피드를 m/s에서 knots를 사용하였다.

### 3.2.2. Tuck

첫 번째의 Squat 공식은 Tuck의 공식이다. 실증적인 선박 선체침하 예상 공식 중 많은 것들의 기본이 되는 공식이고 날씬한 선체를 가진 선형의 이론으로 사용되어지고 발전하였다. Tuck와 Tyler는 무한한 폭의 천수구역 상태(제한되지 않은 항로)에서 추정치를 만들었다. 아래의 'T'로 축약하여 선수 Squat의 값  $S_{bT}$  (m)는 다음과 같다.

$$S_{bT} = (C_Z + C_\theta) \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \quad (3.6)$$

$C_Z$  와  $C_\theta$  는 각각 평균 침하와 흘수의 선박 선형 특성을 기본으로 하는 상수이다. 하지만 이러한 상수는 실제 계산에서 쉽게 적용하기가 힘들다.

$L_{pp}$ 는 수선간장이며,  $F_{nh}$ 는 천수구역에서 선박의 움직임의 저항요소를 측정하기 위한 무차원 변수인 Froude Number이다. 이는 다음과 같이 정리된다.

$$F_{nh} = V_s / \sqrt{gh} \quad (3.7)$$

( $V_s$  : 선속,  $g$  : 중력가속도,  $h$  : 수심)

Stock et al.(2002) St. Lawrence Seaway(SLS)의 St. Louis section 호수에 호수 운항 선박과 벨크션의 Tuck 공식을 추천하였다. 그들은 Tuck 공식의 수정 공식으로 다음과 같이 제시하였다.

$$S_{bT} = 1.46 \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} K_S + 0.5 L_{pp} \sin \frac{\nabla}{L_{pp}^3} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} K_S \quad (3.8)$$

$K_S$  는 모든 세 개의 형태의 항로 폭에서 대응하는 요소로 다음 Huuska/Guliev의 공식에서 정리하였다.

### 3.2.3. Huuska/Guliev

Hooft(1974)는 Tuck의 제한되지 않은 수로에서의 선체침하와 트림에 의한 선체침하량에서 좀 더 유용한 형태로 분리된 공식을 결합하였다. 1976년 Huuska는 Hooft의 작업에서 제한되지 않은 수로에 제한된 수로와 운하를 추가하여 Guliev가 발전시킨 수로폭  $K_S$  에 수정 요소를 추가하여 확장시켰다. 그들의 선수 선체침하  $S_{bH}$  (m)는 다음과 같이 정의된다.

$$S_{bH} = C_S \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} K_S \quad (3.9)$$

$\nabla$ 는 배수량의 볼륨값( $m^3$ )이고,  $L_{pp}$ 는 수선간장이며,  $F_{nh}$  Froude number이다. 선체침하 변수  $C_S$  는 Hooft의 공식에서는  $C_S = 1.9$  에서 2.03까지 사용하고 일반적으로  $C_S = 1.96$ 을 사용한다. 하지만 이 공식에서 평균값은  $C_S = 2.4$  이다. 요소  $\nabla/L_{pp}^2$  는  $C_B BT/L_{pp}$  와 동등하고 선체침하 공식에서 전환하여 사용할 수 있다. 일반적으로 이 공식은  $F_{nh}$  이 0.7보다 클 때는 사용하지 않는다.

세 개의 모든 항로에서 무한의  $K_S$  는 다음과 같이 정해진다.

$$\begin{aligned} K_S &= 7.45s_1 + 0.76 \quad s_1 > 0.03 \\ &= 1.0 \quad s_1 \leq 0.03 \end{aligned} \quad (3.10)$$

무한의 수정된 blockage(방해) 요소인  $s_1$  는 항로의 형태에 따라 다음과 같이 정의되고 있다.

$$\begin{aligned} s_1 &= 0.03 \quad (U : \text{Unrestricted channel, 제한되지 않은 항로}) \\ &= \frac{S}{K_1} \quad (R : \text{Restricted channel, 제한된 항로}) \end{aligned}$$

$$= S \quad (C : \text{Carnal, 운하}) \quad (3.11)$$

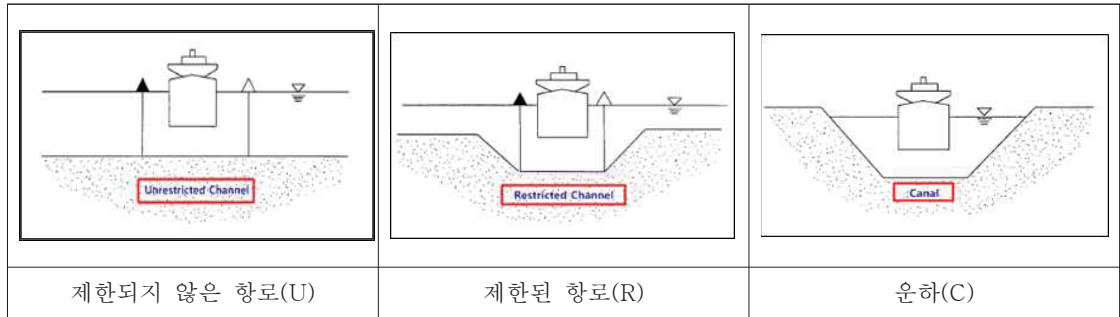


Fig. 3.4 항로의 형태

The Finnish maritime Administration(FMA)는 모든 세 개의 항로 형상 배치에 Huuska/Guliev 공식을 사용한다. 그들은 추가적으로 상한과 하한에 대하여 추가적인 제한을 다음과 같이 두고 있다.

- ①  $C_B$  0.60에서 0.80
- ②  $B/T$  2.19에서 3.50
- ③  $L_{pp}/B$  5.50에서 8.50
- ④  $h_T/h$  0.22에서 0.81



그리고 The Spanish ROM(2003) 역시 모든 세 개의 항로 배치에서 Huuska/Guliev 공식을 사용할 것을 추천하고 있다.

### 3.2.4. ICORELS

The International Commission for the Reception of Large Ships(ICORELS or "I") 공식은 선수 선체침하  $S_{b,I}$  는 Hooft와 Huuska의 공식과 비슷하다. 이것은 Tuck의 공식에서 나온 위험 속력  $V_{Cr}$  의 계산을 바탕으로 하고 있다. 선체침하는 Tuck의 요소  $F_{nh}^2 / \sqrt{1 - F_{nh}^2}$  의 사용 결과로써 속력의 증가의 제공보다 더 증가한다. 이것은 제한되지 않는 항로에서만 적용되었다. 그래서 제한된 수로에 적용할 때는 주의를 기울여서 사용되어야 한다. 제한되지 않는 수로에서 ICORELS는  $K_S = 1.0$ 이기 때문에 Huuska의 공식과 동일하다.

$$S_{b,I} = C_S \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \quad (3.12)$$

하지만 상수  $C_S$ 에 대해서는 PIANC는 일반적으로  $C_S = 2.4$ 를 사용하고, 방형비척 계수가 큰 선박의 경우에는  $C_S = 1.75$ 와 비슷한 값으로 때때로 교체하곤 한다. The FMA는 제한되지 않은 항로에서 배의 방형비척계수의 크기 범위에 따라  $C_S = 1.7, 2.0, 2.4$ 의 값을 공식에 사용한다.

$$\begin{aligned} C_S &= 1.7 & C_B < 0.70 \\ C_S &= 2.0 & 0.70 \leq C_B < 0.80 \\ C_S &= 2.4 & C_B \geq 0.80 \end{aligned} \quad (3.13)$$

그러나 BAW에서는 100Km 길이의 Elbe 강에서의 많은 측정을 바탕으로 한 연구에서  $C_B < 0.70$  를 가진 대형 컨테이너선에서는  $C_S = 2.0$  의 값을 추천하였다. 그리고 일반적인 선박보다 선미가 더 넓은 트랩섬(Transom stern)인 선박은 선수 Squat가 더 증가하므로  $C_S = 3.0$ 을 추천하였다.

Flanders Hydraulic Research(FHR)은 현재 운항하는 컨테이너들은  $C_S \geq 2.0$  이라고 연구결과를 내놓았다. 현재 운항하는 컨테이너들은 예전의 컨테이너들에 비해 더 높은 속력으로 통항을 하므로 천수나 제한구역에서도 더 높은 값을 적용하였다.

### 3.2.5. Barrass

Barrass(2004)는 상대적으로 사용자가 친숙하도록 모든 항로의 배치에 나타나는 최대 Squat 값( $S_{Max}$ )에 대해 간략한 공식을 제안했다. 1979년, 1981년, 2004년의 그의 작업을 바탕으로 선수 또는 선미의 최대 선수침하  $S_{Max, B3}$  는 선박의 방형비척계수( $C_B$ ), 선속( $V_k$ )과 수로의 무한 blockage 요소  $S$ 에 의해 결정된다고 결론을 내렸다.

$$S_{Max, B3} = \frac{C_B V_k^2}{100/K} \quad (3.14)$$

Barrass는 무한 계수  $K$ 를 다음과 정의했다.

$$K = 5.74S^{0.76} \quad (3.15)$$

최종적으로 2007년 Barrass는 초기 연구 1979년, 1981년에 예상한 최대 선체침하  $S_{Max}$ 를 수정하여 방형비척계수  $C_B$ , 선속  $V_k$ , 폭의 영향  $F_B$ 을 기본으로 모든 수로에 대한 수정된 공식을 제안하였다. 그러나 이 수식과 거의 비슷한 값이라 본 연구에서는 Barrass식을 사용하였다.

제한되지 않는 항로에서는 Blockage 요소  $S = 0.10$ 의 값으로 설정하여  $K = 1$ 의 값과 과 분모는 100으로 남겨두었고 제한된 항로에서는  $S = 0.25$ 의 값에  $K = 2$ 로 주어 분모가 50이 되게 하였다. 그리하여  $K$ 의 효과는 분모의 값을 50에서 100까지 사이의 일정한 분모로 수정하게 하는 것이다. 이 공식은 600번이 넘는 연구실과 모델 측정을 바탕으로 하고 있다. 이 공식에서의 제약은  $1.10 \leq h/T \leq 1.40$ 과  $0.10 \leq S \leq 0.25$ 이다. 이 공식은 상기의  $S$ 의 제한 사이에서  $S$ 의 값을 가진 중간 넓이의 강을 수용할 수 있다. Barrass의 공식은 선체침하가 선속의 제공에 비례하는 것을 가정하기 때문에 동등한  $V_s$ (in metric unit)은 위험 속력  $V_{Cr}$ 에 대해 충분히 작은 값을 만족하는지 반드시 점검하여야 한다.

Barrass는 방형비척계수의 값이 최대 선체침하가 선수인지 선미인지를 결정한다고 주장하였다. 제한되지 않은 수로에서 속력이 0인 등흘수의 선박이 초기 상태에서 Barrass는 선박의 다른 반대의 선수침하  $S_{oe, B3}$ 의 계산을 위한 공식을 또한 발표하였다. 반대(선수 또는 선미)의 선체침하, 선체 중앙의 침하  $S_{m, B3}$ , 동적 트림  $S_{t, B3}$ 를 이공식에 적용하기 위해서는  $S_{Max}$ 는 알아야 한다. 이러한 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_{oe, B3} &= K_{oe} S_{Max, B3} \\ S_{m, B3} &= K_m S_{Max, B3} \\ S_t &= K_t S_{Max, B3} \end{aligned} \quad (3.16)$$

계수는 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} K_{oe} &= [1 - 40(0.7 - C_B)^2] \\ K_m &= [1 - 20(0.7 - C_B)^2] \\ K_t &= 40(0.7 - C_B)^2 \end{aligned} \quad (3.17)$$



Stock et al.(2002)는 Barrass 공식이 SLS 연구의 Lake St. Francis 지역(제한되지 않은 항로)의 호수들에서 가장 최상의 결과를 주었다는 것을 발표했다.

### 3.2.6. Eryuzlu

Eryuzlu와 Hausser(1978)은 제한되지 않은 항로에서 자기 추진 탱커의 실험적인 모델 테스트를 수행하였다. 세 개의 VLCC 모델(1:100 스케일)은 만선의 흘수에 대형수조(76m X 17m X 0.35m)에서 속력 6-15knot 범위로 테스트를 실시했다. 등흘수에 방형비척계수는 0.80에서 0.85로 다양했고, 각각의 모델을 수심과 흘수의 비( $h/T$ )는 4에서 6으로 테스트를 실시했다. 매우 정확한 선체침하의 측정(모델에서  $\pm 0.10m$ )을 위해 레이저와 카메라 시스템을 이용하여 결과를 얻었다.

1994년 Eryuzlu와 그의 동료들은 제한되지 않은 항로와 제한된 항로에서 구상선수를 가진 화물선과 벌크선에 대한 추가적인 실험적 모델과 실측 측정을 수행하였다. 그들은 자기 추진 모델을 사용했다. 초기의 PIANC 공식의 많은 것들은 구상 선수가 없는 선박을 바탕으로 하였다. 선박의 크기요소는  $C_B \geq 0.8$ ,  $B/T$  2.4-2.9,  $L_{pp}/B$  6.7-6.8로 제한을 두었다. 그들은 제한된 항로에서 수로폭의 영향을 조사하기 위해  $h_T/h=0.5$ ,  $n=2$ 를 가진 약간의 보충적으로 실험적 모델 테스트를 수행했다. 이러한 제약에도 불구하고 E2는  $C_B \geq 0.8$ 의 범위보다 작은 방형비척계수를 가진 컨테이너에 종종 사용되었다. 그들의 선수 선체침하 공식은 다음과 같다.

$$S_{b, E2} = 0.298 \frac{h^2}{T} \left( \frac{V_s}{\sqrt{gT}} \right)^{2.289} \left( \frac{h}{T} \right)^{-2.972} (K_b) = 0.298 T \left( \frac{h}{T} \right)^{0.1725} F_{nh}^{2.289} K_b \quad (3.18)$$

$h$ ,  $T$ ,  $V_s$ ,  $g$ 에 대해서는 앞에서 정의하였다. 이 공식의 왼쪽 편은 Eryuzlu가 발표한 최초의 공식이다. 선박의 흘수가 수로의 깊이를 대신하여 분모로 사용하기 때문에 선박 Froude Number(즉,  $V_s/\sqrt{gT}$ )를 요소로 작성되었다. 오른쪽은 쉽게 사용하기 위한 간편식이다. 이는 흘수와 깊이비  $h/T$ 에 약간 의존되고 2보다 약간 더 큰 선속을 보여준다.  $F_{nh}$ 의 중요성은 포함되나 공식에서는 위험 속력을 계산하지 않는다. 따라서 Eryuzlu의 공식에서는 언제나 선박의 속력은 위험 속력에 비해 상당히 작은 값을 가진 것을 결정하고 점검하여야 한다. 공식에서는 선박의 독립 특성을 포함하지 않기 때문에 Table 3.2에서 언급한 수치들의 범위 밖에서는 사용되어서는 안된다.

무한의  $K_b$ 는 항로의 폭  $W$ 와 선평  $B$ 의 상대적인 수정 요소로 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} K_b &= \frac{3.1}{\sqrt{W/B}} & \left( \frac{W}{B} < 9.61 \right) \\ K_b &= 1 & \left( \frac{W}{B} \geq 9.61 \right) \end{aligned} \quad (3.19)$$

$K_b = 1$ 이라는 두 번째의 값은 제한되지 않은 항로에서는 해수와 선박의 이차적인 효과가 수로에 없기 때문에 계산된 항로의 유효폭  $W_{Eff}$ 의 간주하지 않기 때문이다.

The Canadian Coast Guard(2001)은 Eryuzlu의 공식을 전적으로 사용하고 있다. Stocks et al.(2002)은 SLS의 St. Louis 구역의 호수(제한되지 않은 항로)에서 케미컬 탱크에 Eryuzlu 공식을 적용할 것을 권고하고 있다. 캐나다 연구들은 정적 모델로써 Eryuzlu 공식을 개발하는 작업을 진행 중이다.

### 3.3.7. Römisch

Römisch(1989)는 선수  $S_{b,R}$ 와 선미  $S_{s,R}$  선체침하를 모든 세 개의 항로 배치에서 실험적 모델로부터 구하는 공식을 개발했다. 모델 선박은  $L_{pp}=40m$ ,  $B=4.6m$ ,  $T=1.75m$ 이었다. Römisch의 실증적 공식은 상대적으로 복잡하다. 그래서 항만의 기본 설계 단계보다는 상세 설계 단계에서 사용되어지고 있다. 이 공식의 적용 가능한 수치 범위는 Table 3.2에 나와 있다.

$$\begin{aligned} S_{b,R} &= C_V C_F K_{\Delta T} T \\ S_{s,R} &= C_V K_{\Delta T} T \end{aligned} \quad (3.20)$$

$C_V$ 는 선박의 속력의 수정 요소이다.  $C_F$ 는 선박의 선형의 수정요소이다.  $K_{\Delta T}$ 는 선박의 위험 속력에서 선체침하량의 수정요소이다. 이러한 무한계수는 다음과 같이 정의한다.

$$C_V = 8 \left( \frac{V}{V_{Cr}} \right)^2 \left[ \left( \frac{V}{V_{Cr}} - 0.5 \right)^4 + 0.0625 \right] \quad (3.21)$$

$$C_F = \left( \frac{100 C_B}{L_{pp}/B} \right)^2 \quad (3.22)$$

$$K_{\Delta T} = 0.155 \sqrt{h/T} \quad (3.23)$$

$C_F$ 의 값은 선미 선체침하에서 1.0과 동등하다.  $C_F > 1$ 이면, 선박의 선수에 선체침하가 발생할 것이다. 공식에 따르면  $C_B > 0.1L_{pp}/B$  일때 이것은 발생한다. 이는 Barrass가 제안한 방형비척계수  $C_B > 0.7$  일 때 선수트림이 발생하는 공식과 상대적 대안으로 고려해 볼 수 있다.

선박의 위험 속력  $V_{Cr}$ 은 연속 방정식과 베르누이의 법칙 사이의 에너지 균등 때문에 선박이 초과할 수 없는 속력이다. 경제적인 이유로써, 선박의 최대 속력은 위험속력  $V_{Cr}$ 의 80%이다.  $V_{Cr}$ 은 각 수로의 배치에서 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} V_{Cr} &= C_U K_U & (U) \\ V_{Cr} &= C_C K_C & (C) \\ V_{Cr} &= C_R K_R & (R) \end{aligned} \quad (3.24)$$

세 개의 요소,  $C_U$ ,  $C_C$ ,  $C_R$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$C_U = \sqrt{gh} ; C_C = \sqrt{gh_M} ; C_R = \sqrt{gh_{mT}} \quad (3.25)$$

Römisch 무한 수정 요소  $K_U$ ,  $K_C$ ,  $K_R$ 은 제한되지 않은 수로, 운하, 제한된 수로에서 상대적으로 사용되는 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} K_U &= 0.58 \left[ \left( \frac{h}{T} \right) \left( \frac{L_{pp}}{B} \right) \right]^{0.125} \\ K_C &= \left[ 2 \sin \left( \frac{\arcsin(1-S)}{3} \right) \right]^{1.5} \\ K_R &= K_U (1 - h_T/h) + K_C (h_T/h) \end{aligned} \quad (3.26)$$

운하 수정 요소  $K_C$ 의 정의는 식 13에서의  $V_{Cr}/\sqrt{gh_M}$ 의 이전에 정의한 값과 같다.  $K_C$ 에 대한 대안적인 공식은 Briggs(2006), Briggs et al.(2010) 및 USACE(2004)에 의해 발간되었다. 제한된 수로에서의  $K_R$ 은  $K_C$ 와  $K_U$  두 개의 요소에 의해 구해진다.

### 3.3.8. Yoshimura

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism(MLIT 2007)은 일본의 항로에 대한 새로운 설계기준의 한 부분으로써 선수 Squat 공식을 다음과 같이 제안했다. 선수 선체침하  $S_{b,Y}$ 에 대한 Yoshimura의 공식은 일본의 전형적인 제한되지 않은 수로에서의 카캐리어(PCC, Pure car carrier)와 일반 화물선에 대한 경험적인 바탕으로 한 Yoshimura(1986) 공식을 바탕으로 발전시킨 것이다. 이 공식의 수치들의 범위는 Table 3.2에서 제안된 것에 적용할 수 있다. 그들의 공식은 선체침하량이 제한된 수로와 운하에서 blockage factor인  $S$ 의 요소를 변화시키는 선박의 속력에 대한 이차원적인 수식을 제안했다. 다만 위험 속력  $V_{Cr}$ 은 무시했다. 이 공식의 선수 Squat 값은 일반적으로 타 공식의 예상의 평균 값 근방이었다. 선박의 종류와 관계없이 다음과 같이 주어진다.

$$S_{b,Y} = [(0.7 + 1.5 \frac{1}{h/T})(\frac{C_B}{L_{pp}/B}) + 15 \frac{1}{h/T}(\frac{C_B}{L_{pp}/B})^3] \frac{V_e^2}{g} \quad (3.27)$$

2007년에 Ohtsu와 Yoshimura는 제한된 수로와 운하에서의예상을 향상시키기 위해  $S$  요소를 포함하여 선박의 동등한 속력  $V_e$ 에 작은 변화를 제안하였다.

$$\begin{aligned} V_e &= V_s & (U) \\ V_e &= \frac{V_s}{(1-S)} & (R, C) \end{aligned} \quad (3.28)$$

이 상의 공식들이 적용 가능한 항로 및 제한 조건에 대한 비교 및 특징들은 Table 3.3과 같다.

**Table. 3.3** Squat 공식 및 제한조건

공식	공식	제한 조건		
		$C_B$	h/T	L/B
Tuck	$S_{b,T} = (C_Z + C_\theta) \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}}$	-	-	-
Huuska/ Guliev	$S_{b_H} = C_S \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} K_S$	0.6-0.8	1.1-2.0	5.5-8.5
ICORELS	$S_{b,I} = C_S \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}}$	0.6-0.8	1.1-2.0	5.5-8.5
Barrass	$S_{Max, B3} = \frac{C_B V_k^2}{100/K}$	0.5-0.85	1.1-1.4	-
Eryuzlu	$S_{b,E2} = 0.298 \frac{h^2}{T} \left( \frac{V_s}{\sqrt{gT}} \right)^{2.289} \left( \frac{h}{T} \right)^{-2.972} (K_b)$	$\geq 0.8$	1.1-2.5	6.7-6.8
Römisch	$S_{b,R} = C_V C_F K_{\Delta T} T, S_{s,R} = C_V K_{\Delta T} T$	-	1.19-2.25	8.7
Yoshimura	$S_{b,Y} = \left[ \left( 0.7 + 1.5 \frac{1}{h/T} \right) \left( \frac{C_B}{L_{pp}/B} \right) + 15 \frac{1}{h/T} \left( \frac{C_B}{L_{pp}/B} \right)^3 \right] \frac{V_e^2}{g}$	0.55-0.8	$\geq 1.2$	3.7-6.0


## 제 4 장 국내항만의 여유수심의 적정성 및 안전성 평가

### 4.1 선박의 제원

#### 4.1.1. 부산항 대상선박(18,000 TEU 컨테이너선의 제원)

Table 4.1은 M사 A선박의 제원이다. 이 선박은 부산항만의 부산신항에 입항하는 선박 중 가장 큰 선박과 동형의 선박으로써 본 연구의 부산항의 여유 수심 분석을 위해 선정하였다.

**Table. 4.1** 18,000 TEU급 컨테이너선의 제원


Type of ship	Container(18,000TEU)
LOA	399m
LBP(LPP)	376.21m
Breadth(B)	59m
Depth(D)	30.2m
Max. Draft(T)	16m
Deadweight	194,200Ton
Displacement(▽)	257,771Ton
Main engine	30,632KW × 2
Max. speed	23knots
$C_B$	0.7095
Engine order : speed	Dead slow ahead : 5.2knots(2.7m/s) Slow ahead : 8.5knots(4.4m/s) Half ahead : 13.2knots(6.8m/s) Full ahead : 18.5knots(9.5m/s)
Picture of ship	



#### 4.1.2. 울산항 및 여수항 대상선박(300,000 DWT급 탱커선의 제원)

Table 4.2는 S사 B선박의 제원이다. 이 선박은 현재 울산항 SPM 및 여수 원유부두에 입항하는 선박 중 가장 큰 탱커선과 동형의 선박으로써 본 연구의 울산항 및 여수항의 여유 수심 분석을 위해 선정하였다.

**Table. 4.2** 300,000 DWT급 탱커선의 제원

Type of ship	Crude oil Tanker(VLCC)
LOA	336m
LBP(LPP)	322m
Breadth(B)	59.6m
Depth(D)	29.6m
Max. Draft(T)	20.996m
Deadweight	298,989Ton
Displacement(▽)	342,167Ton
Main engine	39,990KW
Max. speed	16.76knots
$C_B$	0.8492
Engine order : speed	Dead slow ahead : 4.7knots Slow ahead : 8.5knots Half ahead : 10.6knots Full ahead : 12.6knots
Picture of ship	

#### 4.1.3. 광양항 대상선박(300,000 DWT 급 벌크선의 제원)

Table 4.3는 S사 C선박의 제원이다. 이 선박은 현재 광양항 원료부두에 입항하는 선박 중 가장 큰 탱커선과 동형의 선박으로써 본 연구의 울산항 및 여수항의 여유 수심 분석을 위해 선정하였다.


**Table. 4.3 300,000 DWT급 벌크선의 제원**

Type of ship	Bulk carrier
LOA	327.5m
LBP(LPP)	315m
Breadth(B)	57.2m
Depth(D)	30.4m
Max. Draft(T)	21.3m
Deadweight	290,160Ton
Displacement(▽)	328,023Ton
Main engine	24,620KW
Max. speed	12.4knots
$C_B$	0.8547
Engine order : speed	Dead slow ahead : 5.1knots Slow ahead : 5.8knots Half ahead : 8.9knots Full ahead : 11.6knots
Picture of ship	

#### 4.1.4. 인천항 및 평택항 대상선박(150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 제원)

Table 4.5는 D사 D선박의 제원이다. 이 선박은 현재 인천항 및 평택항 LNG부두에 입항하는 선박 중 가장 큰 탱커선과 동형의 선박으로써 본 연구의 인천항 및 평택항의 여유 수심 분석을 위해 선정하였다.

**Table. 4.4** 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 제원

Type of ship	LNG carrier
LOA	285.4m
LBP(LPP)	274.4m
Breadth(B)	43.4m
Depth(D)	26m
Max. Draft(T)	12.621m
Deadweight	84,934.6Ton
Displacement(▽)	117,914.7Ton
Main engine	38,700KW
Max. speed	21.0knots
$C_B$	0.7845
Engine order : speed	Dead slow ahead : 5.5knots Slow ahead : 8.0knots Half ahead : 10.5knots Full ahead : 12.5knots
Picture of ship	

## 4.2 선박의 Squat 계산

선박의 선체침하량 계산은 “4.1 항만을 이용하는 선박의 제원”에 나와 있는 우리나라 항만에 입항하는 가장 큰 선박인 대상선박을 기준으로 항내 및 항로의 최소 수심을 기준으로 계산하였다. 계산식은 다음과 같이 계산하여 분석하였다.

- (1) 항내 항로와 접근 항로를 구분하여 계산
- (2) 항내 항로와 접근 항로의 최저수심을 기준으로 계산
- (3) 해도에 기입된 기본수준면/평균해수면/평균고조의 세 가지 경우로 나누어 계산(일부는

대상선박 대비 홀수가 적을 경우 또는 기본수준면의 수심에서 만족하는 경우 생략함)

(4) 항내 항로와 접근 항로의 설계기준인 홀수대비 10%, 15%를 추가로 계산

6개 국내항만의 대상선박의 Squat 계산의 시나리오 및 조건은 Table 4.5와 같다.

**Table. 4.5** 6개 국내항만의 대상선박의 Squat 시나리오 및 조건

시나리오 번호	대상 항만	구분	수심 조건		대상선박 (홀수)	Remark
Case A-1	부산	항내	17m	기본수준면	컨테이너 (16m)	준설수심 17m
Case A-2			17.95m	평균해수면		
Case A-3			18.5m	평균고조높이		최대홀수의 10%
Case A-4			17.6m	-		
Case A-5		항로	17.5m	평균고조높이		최소수심 16m
Case A-6			18.4m	-		최대홀수의 15%
Case B-1	울산	항로	23.5m	기본수준면	탱커 (21m)	최저수심 23.5m
Case B-2			24.15m	-		최대홀수의 15%
Case C-1	여수	항내	22.8m	평균해수면	탱커 (21m)	최저수심 21m
Case C-2			23.2m	-		최대홀수의 10%
Case C-3		항로	22m	기본수준면		최저수심 22m
Case C-4			23.8m	평균해수면		
Case C-5			24.15m	-		최대홀수의 15%
Case D-1	광양	항내	23.4m	평균해수면	벌크선 (21.3m)	최저수심 21.5m
Case D-2		항로	22.4m	평균해수면		최대홀수의 10%
Case D-3			24.5m	-		최저수심 22.4m
Case E-1	인천	항내	17.2m	평균해수면	LNG선 (12.6m)	최대홀수의 15%
Case E-2			13.9m	-		최저수심 12.8m
Case E-3		항로	16.5m	평균고조높이		최대홀수의 10%
Case E-4			14.5m	-		최저수심 13.4m
Case F-1	평택	항내	15.1m	평균고조높이	LNG선 (12.6m)	최저 수심 8.5m
Case F-2		항로	13.4m	기본수준면		최대홀수의 15%

#### 4.2.1. 부산항(18,000 TEU급 컨테이너)

부산항 중에서도 신항은 대형 컨테이너선들의 입항이 잦은 곳이다. 이 신항은 현재 올해 말(2016년 말)까지 항내를 17m로 준설할 예정이다. 현재는 15-16m이지만 본 연구에서는 17m로 준설이 되었다는 가정 하에 Squat를 계산하여 분석하였다.

계산은 조석을 감안하지 않은 준설수심과 조석을 감안한 평균해면, 평균고조위의 3개의 수심일 때, 선속에 따른 Squat 값을 계산하였다. 항내 항로에서는 대상 선박의 Dead slow ahead 속력인 5.2knots부터 나올 수 있도록 속력은 m/s 단위를 사용하여 2~10m/s로 계산하였다. 그리고 항내의 수심기준인 대상선박 최대흘수 대비 10%의 수심에서 계산하였다.

접근 항로에서는 선박들이 Full ahead의 속력까지 사용하는 경우가 많으므로 대상선박의 Full ahead 18.5knots가 포함되도록 2m/s ~ 10m/s까지 계산하였고 다만 항로의 최저 수심이 대상 선박의 흘수와 같은 16m이므로 기본수준면일때와 평균해면일때를 제외한 평균고조일 때의 수심과 항로의 수심기준인 대상선박 최대흘수 대비 15%의 수심에서 계산하였다.

부산항 중 신항내의 수심 및 최소폭에서의 항내 수심을 계산하기 위하여 아래의 Fig. 3.4와 3.5의 위치의 수심 값을 참조하였다.<sup>9)</sup>

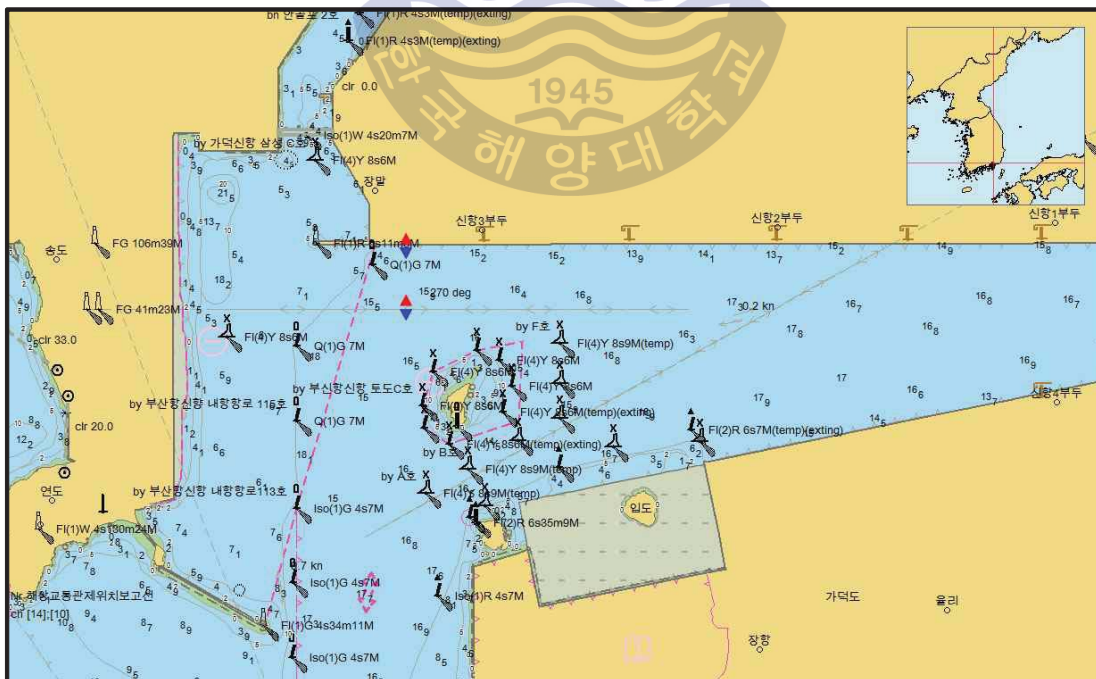


Fig. 4.1 부산 신항의 항만 배치 및 수심(자료출처 : 국립해양조사원)

9) 국립해양조사원에서 제공한 행정용 해도 이용(2016년 6월 현재)



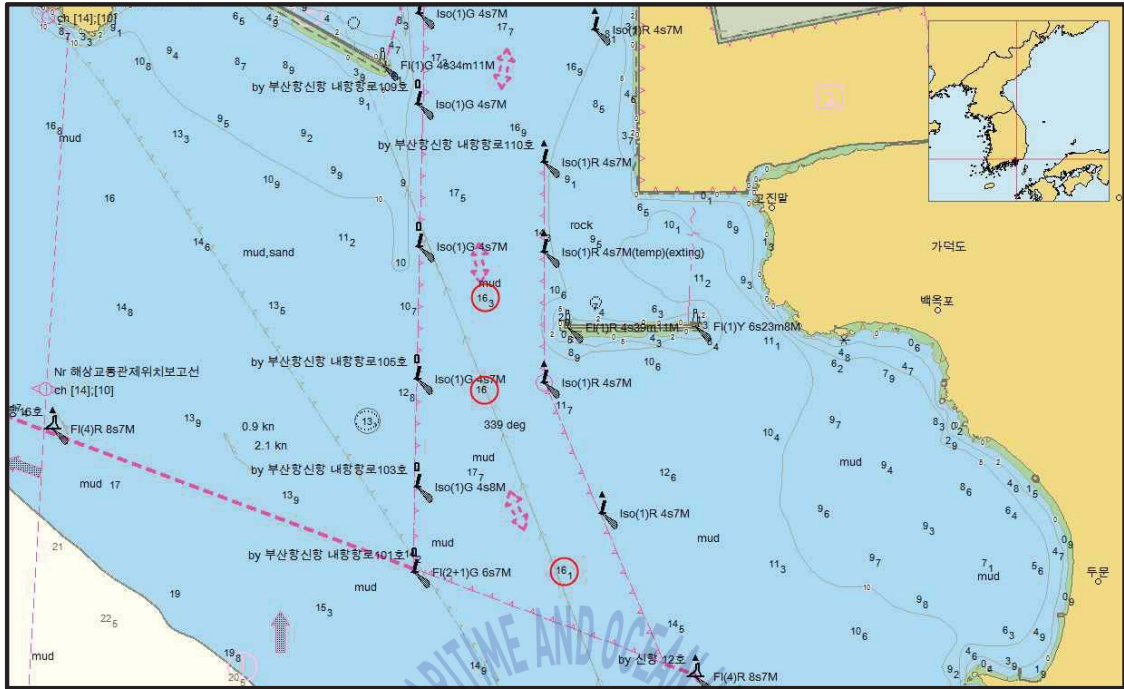


Fig. 4.2 부산 신항의 항로 및 Squat 계산 해당지역(자료출처 : 국립해양조사원)

부산신항 부근의 조석정보는 Table 4.6와 같다.

Table. 4.6 가덕도(부산신항 부근)의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원)

대조승	1.783m	소조승	1.257m
평균해면	0.953m	평균고조위	1.52m

앞에서 언급한 부산신항에 입항하는 최대 크기의 선박인 18,000 TEU 급 컨테이너에 대한 Squat 값 계산의 조건을 정리하면 다음의 표와 같다.

Table. 4.7 부산항, 대상선박 Squat 계산 조건

시나리오 번호	수심조건	대상선박 속력범위	Remark
Case A-1	17m(준설예상수심 및 기본수준면 상 수심)	2~10m/s (3.9~19.4knots)	항내 항로
Case A-2	17.95m(평균해수면 상 수심)		
Case A-3	18.5m(평균고조높이 상 수심)		
Case A-4	17.6m(최대홀수의 10% 대비 수심)		
Case A-5	17.5m(평균고조높이 상 수심) -해도상 최소수심 16m		진입 항로
Case A-6	18.4m(최대홀수의 15% 대비 수심)		

#### 4.2.1.1 항내 항로 계산

##### 1) Case A-1(수심 : 17m)

항내 항로의 기본수준면의 수심 17m일때의 Squat 계산결과는 다음과 같았다.

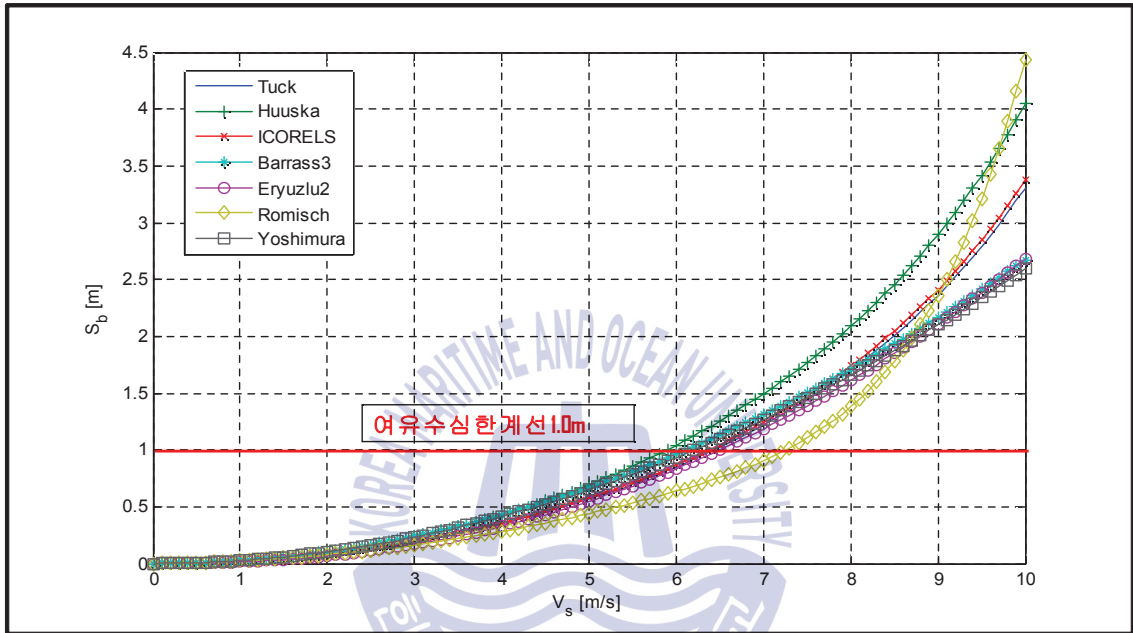


Fig. 4.3 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 17m)

Table. 4.8 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 기본수준면(수심 17m)

	선속별(m/s) 선수 선체침하량(m)												
선속(m/s)	2.0	2.7	3.0	4.0	4.4	5.0	6.0	6.8	7.0	8.0	9.0	9.5	10.0
선속(kts)	3.9	5.3	5.83	7.8	8.6	9.7	11.7	13.2	13.6	15.6	17.5	18.5	19.5
Tuck	0.08	0.16	0.19	0.35	0.43	0.57	0.85	1.14	1.22	1.71	2.36	2.79	3.31
Huuska	0.10	0.19	0.24	0.43	0.53	0.69	1.04	1.40	1.49	2.09	2.89	3.41	4.05
ICORELS	0.09	0.16	0.20	0.36	0.44	0.58	0.87	1.16	1.24	1.74	2.41	2.84	3.37
Barrass	0.11	0.20	0.24	0.43	0.52	0.67	0.96	1.24	1.31	1.71	2.17	2.41	2.67
Römisch	0.08	0.13	0.16	0.28	0.34	0.44	0.64	0.84	0.91	1.38	2.36	3.21	4.44
Yoshimura	0.10	0.19	0.23	0.41	0.50	0.65	0.93	1.20	1.27	1.66	2.10	2.34	2.59

부산신항의 준설수심 17m를 예상하여, 조석을 감안하지 않은 기본수준면(16m)을 기준으로 180,000 TEU 컨테이너의 선수 Squat 값을 계산한 결과는 각 계산식에 큰 차이를 보이지 않았지만 전체적으로 속력이 증가하면서 대상선박의 Full ahead 속력인 9.5kts에서는 Huuska의 공식에서 값이 3.41m로 가장 컸고, Yoshimura의 공식이 값이 2.34m로 가장 작았다. 항만 설계 기준상의 정온도가 유지되는 항내에서의 선저 여유 수심 10%를 넘어서는 범위(T : 16m, 여유 수심 : 1.6m)는 수심이 17m일때는 그 값을 넘어서고, 계산상 여유 수심 1.0m를 넘어서는 범위는 Huuska의 공식에서는 선속이 6.0m/s(11.7kts)를 넘어설 때부터이며, 6.8m/s(13.2kts)의 속력에서는 Römisch의 공식을 제외하고는 모두 넘는 결과가 나왔다. Römisch의 공식에서는 7.5m/s에서의 속력에서 1.0m를 넘었다. 안전 UKC 0.5m를 넘는 속력은 4.4m/s(8.6kts)~5.0m/s(9.7kts)로 대상선박 Slow ahead 속력으로 나왔다.

## 2) Case A-2(수심 : 17.95m)

항내 항로의 평균해수면높이의 수심일 때의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

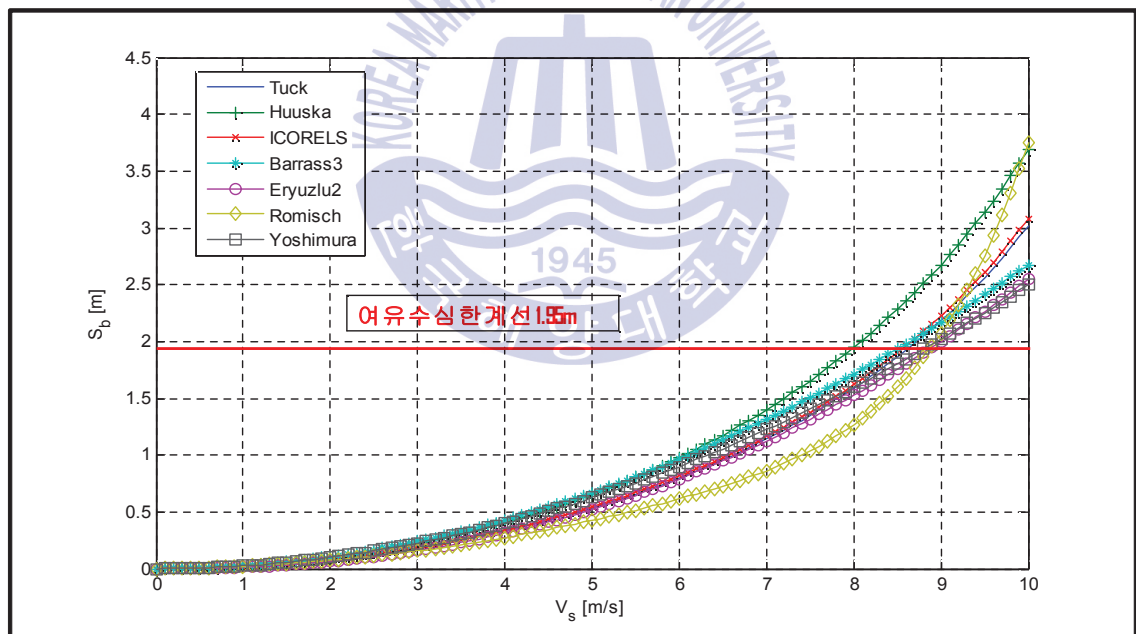


Fig. 4.4 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 17.95m)

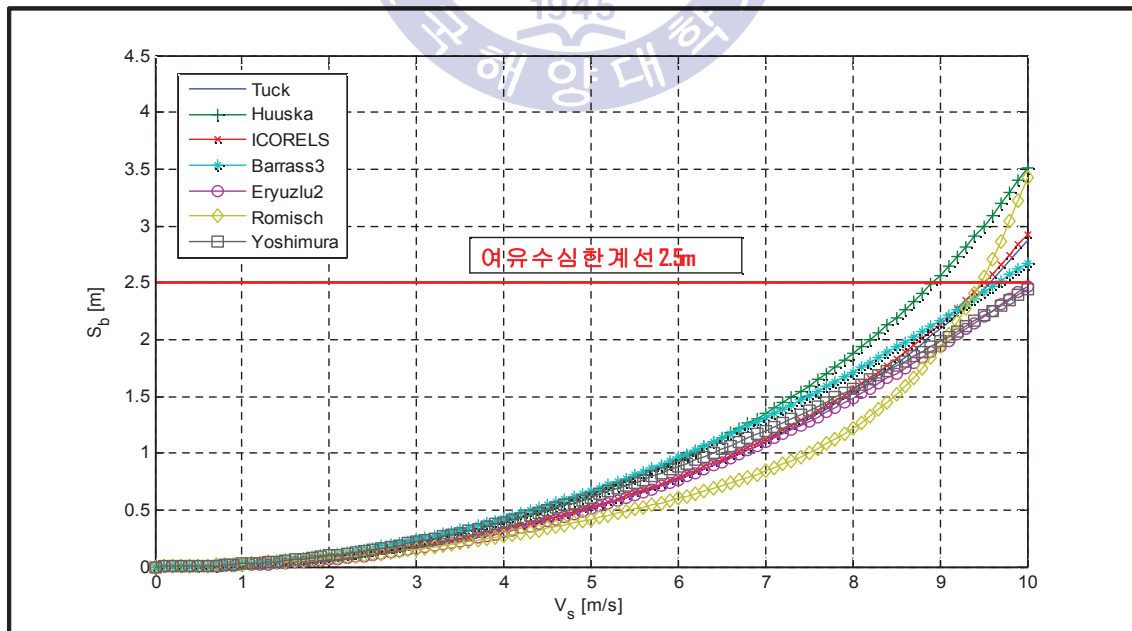
**Table. 4.9** 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 평균해수면(수심 17.95m)

	선속별(m/s) 선수 선체침하량(m)												
선속(m/s)	2.0	2.7	3.0	4.0	4.4	5.0	6.0	6.8	7.0	8.0	9.0	9.5	10.0
선속(kts)	3.9	5.3	5.83	7.8	8.6	9.7	11.7	13.2	13.6	15.6	17.5	18.5	19.5
Tuck	0.08	0.15	0.18	0.33	0.41	0.53	0.80	1.07	1.14	1.59	2.18	2.56	3.01
Huuska	0.10	0.18	0.22	0.41	0.50	0.65	0.98	1.31	1.40	1.95	2.67	3.14	3.69
ICORELS	0.08	0.15	0.19	0.34	0.41	0.55	0.82	1.09	1.17	1.62	2.23	2.61	3.08
Barrass	0.11	0.20	0.24	0.43	0.52	0.67	0.96	1.24	1.31	1.71	2.17	2.41	2.67
Römisch	0.08	0.13	0.16	0.27	0.33	0.43	0.61	0.81	0.86	1.27	2.07	2.76	3.75
Yoshimura	0.10	0.18	0.22	0.40	0.48	0.62	0.90	1.07	1.22	1.60	2.02	2.26	2.50

부산신항의 조석을 감안하여 평균해수면의 높이 0.95m를 추가한 Squat 공식은 기준으로 180,000 TEU 컨테이너의 선수 Squat 값을 계산한 결과 대상선박의 Full ahead 속도에서는 Huuska 공식이 3.14m로 가장 큰 값을 가졌으며, Yoshimura 공식에서는 2.26m로 가장 작은 값을 가졌다. 여유 수심 1.95m를 넘는 속력은 대부분의 공식에서 9.0m/s(18.5kts)였다. 안전 UKC를 넘는 속력은 대부분의 공식에서 8.0m/s(15.6kts)였다.

### 3) Case A-3(수심 : 18.5m)

항내 항로의 평균고조높이의 수심일 때의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.



**Fig. 4.5** 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 18.5m)

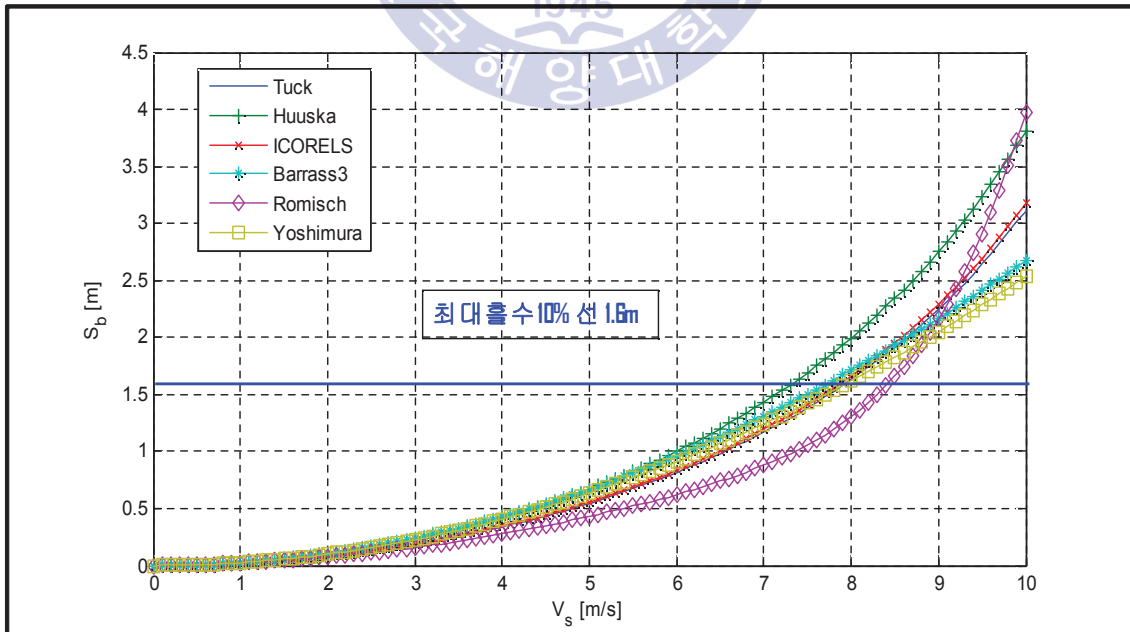
**Table. 4.10** 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 평균고조높이(수심 18.5m)

	선속별(m/s) 선수 선체침하량(m)											
선속(m/s)	2.0	2.7	3.0	4.0	4.4	5.0	6.0	6.8	7.0	8.0	9.0	10.0
선속(kts)	3.9	5.3	5.83	7.8	8.6	9.7	11.7	13.2	13.6	15.6	17.5	19.5
Tuck	0.08	0.14	0.18	0.32	0.40	0.52	0.78	1.04	1.11	1.54	2.11	2.89
Huuska	0.10	0.18	0.22	0.40	0.49	0.64	0.95	1.27	1.36	1.89	2.58	3.54
ICORELS	0.08	0.15	0.18	0.33	0.40	0.53	0.79	1.06	1.13	1.57	2.15	2.95
Barrass	0.11	0.20	0.24	0.43	0.52	0.67	0.96	1.24	1.31	1.71	2.17	2.67
Römisch	0.08	0.13	0.15	0.27	0.32	0.42	0.60	0.80	0.85	1.23	1.96	2.58
Yoshimura	0.10	0.18	0.22	0.39	0.48	0.61	0.88	1.14	1.20	1.57	2.22	2.46

부산 신항의 준설 17m를 예상 후 평균고조높이 1.5m를 더한 수심 18.5m에서의 Squat 계산식의 결과는 대상선박의 Full ahead 속력에서는 Huuska 공식이 3.02m로 가장 큰 값이었고, Yoshimura 공식에서는 2.22m로 가장 작았다. 대상선박의 Full ahead 속력인 9.5m/s(18.5kts)이하에서는 여유 수심 확보가 되고 안전 UKC 0.5m를 감안했을 때는 9.0m/s(17.5kts)이하일 때 확보 가능하였다.

#### 4) Case A-4(최대흘수의 10%, 17.6m)

대상 선박의 최대흘수의 10%일 때 수심의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.



**Fig. 4.6** 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 17.6m)



**Table 4.11** 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 최대흘수 10%(수심 17.6m)

	선속별(m/s) 선수 선체침하량(m)												
선속(m/s)	2.0	2.7	3.0	4.0	4.4	5.0	6.0	6.8	7.0	8.0	9.0	9.5	10.0
선속(kts)	3.9	5.3	5.83	7.8	8.6	9.7	11.7	13.2	13.6	15.6	17.5	18.5	19.5
Tuck	0.08	0.15	0.19	0.34	0.42	0.55	0.82	1.09	1.17	1.63	2.25	2.64	3.12
Huuska	0.10	0.18	0.23	0.42	0.51	0.67	1.00	1.34	1.43	2.00	2.75	3.23	3.81
ICORELS	0.08	0.15	0.19	0.35	0.42	0.56	0.83	1.11	1.19	1.66	2.29	2.69	3.18
Barrass	0.11	0.19	0.24	0.43	0.52	0.69	0.96	1.24	1.31	1.71	2.17	2.41	2.67
Römisch	0.08	0.13	0.16	0.28	0.33	0.43	0.62	0.82	0.88	1.31	2.17	2.91	3.98
Yoshimura	0.10	0.18	0.23	0.41	0.49	0.63	0.91	1.17	1.24	1.62	2.05	2.29	2.53

대상선박을 기준으로 하여 항내 항로의 수심은 최대흘수의 10%의 기준에 따라 최대흘수 16m에 따른 수심 17.6m를 기준으로 Squat를 계산하였다. 계산 결과, 대상선박의 Full ahead 속력인 9.5kts에서는 Huuska의 공식에서 값이 3.23m로 가장 컸으며, Yoshimura의 공식이 값이 2.29m로 제일 작았다. 1.6m의 여유 수심을 확보하기 위해서는 8.0m/s(15.6kts)의 속력을 초과하여서는 안되는 결과가 도출되었다. 그리고 안전 UKC 0.5m까지 고려하였을 때는 대상선박의 Half ahead인 6.8m/s(13.2kts)의 속력 이하일 때 만족하는 것으로 나왔다.

#### 4.2.1.2 접근 항로 계산

##### 1) Case A-5(17.5m)

접근 항로의 평균해수면높이의 수심에서의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

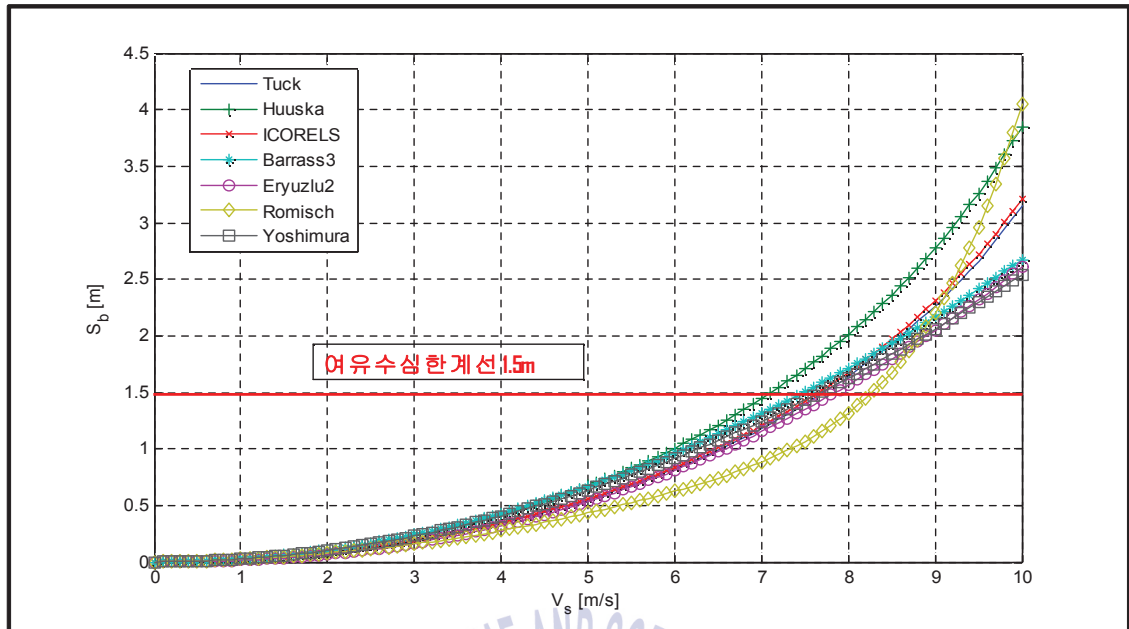


Fig. 4.7 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 17.5m)

Table 4.12 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 평균고조 높이(수심 17.5m)

	선속별(m/s) 선수 선체침하량(m)												
선속(m/s)	2.0	2.7	3.0	4.0	4.4	5.0	6.0	6.8	7.0	8.0	9.0	9.5	10.0
선속(kts)	3.9	5.3	5.8	7.8	8.6	9.7	11.7	13.2	13.6	15.6	17.5	18.5	19.4
Tuck	0.08	0.15	0.19	0.34	0.42	0.55	0.82	1.10	1.18	1.64	2.27	2.66	3.15
Huuska	0.10	0.19	0.23	0.42	0.51	0.67	1.00	1.35	1.44	2.01	2.77	3.26	3.85
ICORELS	0.08	0.15	0.19	0.34	0.43	0.56	0.84	1.12	1.20	1.68	2.31	2.72	3.21
Barrass	0.11	0.20	0.24	0.43	0.52	0.69	0.96	1.24	1.31	1.71	2.17	2.41	2.67
Römis	0.08	0.13	0.16	0.28	0.34	0.43	0.63	0.82	0.88	1.32	2.20	2.96	4.05
Yoshimura	0.10	0.19	0.23	0.41	0.49	0.64	0.92	1.17	1.25	1.63	2.06	2.29	2.54

항로내 최저 수심 지역의 평균고조 높이(17.5m)때의 계산 결과, 대상선박의 Full ahead 속력인 9.5kts에서는 Huuska의 공식에서 값이 3.26m로 가장 컸으며, Yoshimura의 공식이 값이 2.29m로 제일 작았다. 여유 수심 1.5m를 넘는 범위는 대부분 8.0m/s(15.6kts)의 속력이었다. 안전 UKC를 고려했을 때는 대상선박의 Half ahead 속력인 6.8m/s(13.2kts)의 속력이하를 유지해야 한다는 결과가 도출되었다.

2) Case A-6(최대흘수의 15%, 18.4m)

대상 선박의 최대흘수의 15%일 때 수심의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

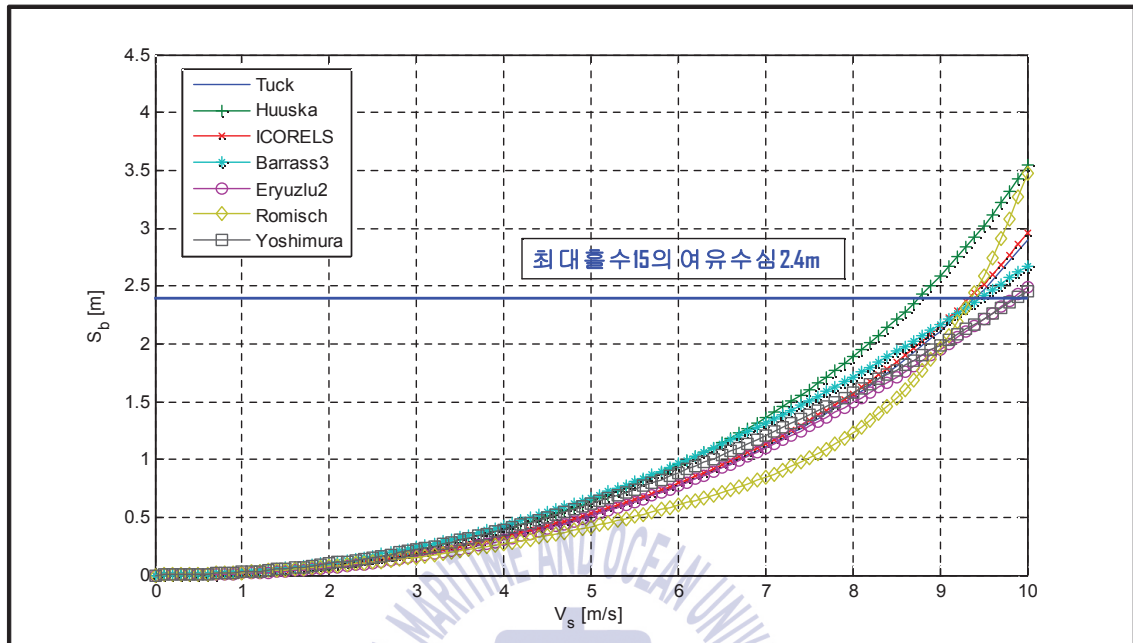


Fig. 4.8 18,000 TEU 컨테이너선의 선수 Squat(수심 : 18.4m)

Table 4.13 18,000 TEU 컨테이너 선수 squat(m), 최대흘수 15%(수심 18.4m)

	선속별(m/s) 선수 선체침하량(m)												
선속(m/s)	2.0	2.7	3.0	4.0	4.4	5.0	6.0	6.8	7.0	8.0	9.0	9.5	10.0
선속(kts)	3.9	5.3	5.8	7.8	8.6	9.7	11.7	13.2	13.6	15.6	17.5	18.5	19.4
Tuck	0.08	0.14	0.18	0.32	0.40	0.52	0.78	1.04	1.11	1.54	2.11	2.47	2.89
Huuska	0.10	0.18	0.22	0.40	0.49	0.64	0.95	1.27	1.36	1.89	2.58	3.02	3.54
ICORELS	0.08	0.15	0.18	0.33	0.40	0.53	0.79	1.06	1.13	1.57	2.15	2.52	2.95
Barrass	0.11	0.20	0.24	0.43	0.52	0.67	0.96	1.24	1.31	1.71	2.17	2.41	2.67
Römis	0.08	0.13	0.15	0.27	0.32	0.42	0.60	0.80	0.85	1.23	1.96	2.58	3.48
Yoshimura	0.10	0.18	0.22	0.39	0.48	0.61	0.88	1.14	1.20	1.57	1.99	2.22	2.46

항로의 수심 기준인 최대흘수 15%인 수심(18.4m)에서 squat계산 결과, 대상선박의 Full ahead 속력인 9.5kts에서는 Huuska의 공식에서 값이 3.02m로 가장 컸으며, Yoshimura의 공식이 값이 2.22m로 제일 작았다. 여유 수심 2.4m를 넘는 범위는 Huuska 공식에서는 9.0m/s의 속력에서 넘었고, Tuck, ICORELS, Barrass3 공식도 대상선박의 Full ahead 속력인 9.5m/s에서 초과하는 결과가 나왔다. Eryuzlu2와 Yoshimura식에서는 10.0m/s 속력에서 여유 수심 2.4를

초과함을 알 수 있었다. 안전 UKC를 고려했을 때는 9.0m/s(17.5kts) 속력 이상에서 초과하는 결과가 나왔다.

#### 4.2.2. 울산항(300,000 DWT급 탱커)

울산항은 우리나라의 대표적인 액체화물을 다루는 항만이다. 그 중에서도 현재 가장 큰 선종인 VLCC 입항이 잦은 항구이다. 300,000 DWT급 탱커인 VLCC는 SBM(Single bouy mooring 또는 SPM : Single point mooring)이라는 Buoy에 접안하여 하역을 하고 있다. 울산항에서는 대상선박 VLCC 입항하는 SK buoy를 입항하는 것으로 계산하였다. 접근 항로의 최저 수심은 25m이었다.

계산은 조석을 감안하지 않은 기본수준면 수심일 때, 선속에 따른 Squat 값을 계산하였다. 항로내에서는 대상 선박의 Dead slow ahead 속력인 4.6knots부터 Full ahead 속력이 포함된 속력범위는 m/s 단위를 사용하여 2~8.6m/s로 계산하였다. SK buoy는 정온도가 유지되는 항내가 아니므로 항로의 기준인 최대흘수의 15%를 기준으로 계산하여 분석하였다.

울산항의 항로의 수심을 계산하기 위하여 아래의 Fig. 4.9와 4.10의 위치의 수심 값을 참조하였다.

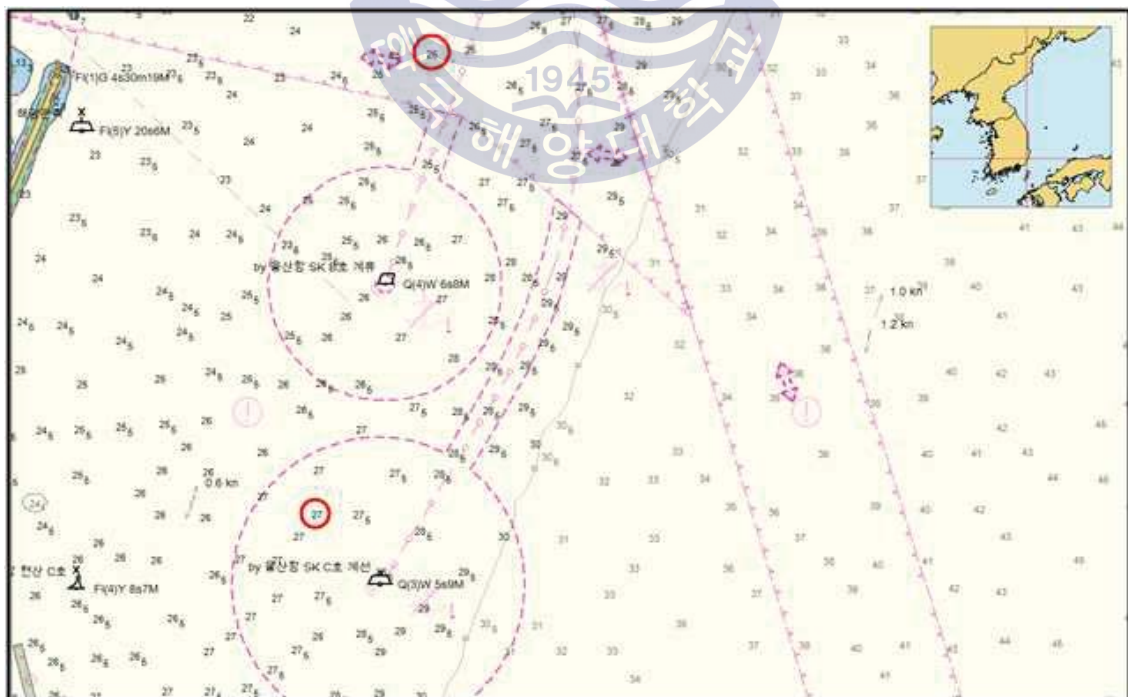


Fig. 4.9 울산항 SK buoy의 배치 및 수심(자료출처 : 국립해양조사원)

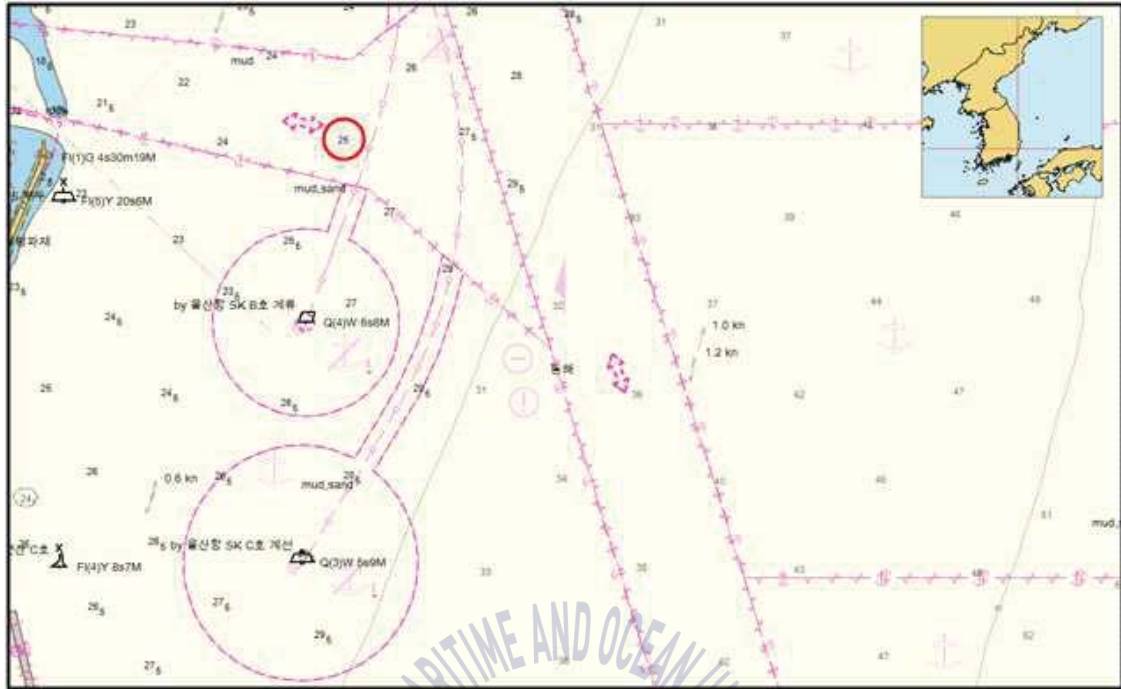


Fig. 4.10 울산항 SK buoy의 진입항로 배치 및 수심(자료출처 : 국립해양조사원)

대상선박의 SK buoy 부근의 여유수심 계산을 위해 조석별 비교하기 위한 울산항 조석정보는 Table 4.14와 같다.

Table. 4.14 울산항의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원)

대조승	0.5m	소조승	0.4m
평균해수면	0.3m	평균고조위	0.45m

앞에서 언급한 울산항에 입항하는 최대 크기의 선박인 300,000 DWT급 탱커선에 대한 Squat 값 계산의 조건을 정리하면 다음의 표와 같다.

Table. 4.15 울산항, 대상선박 Squat 계산 조건

시나리오 번호	수심조건	대상선박 속력범위	Remark
Case B-1	23.5m(항로상 최저 수심의 기본수면 상 수심)	0~8.6m/s (0~16.8 knots)	항내 항로
Case B-2	24.15m(최대홍수의 15% 대비 수심)		



#### 4.2.2.1 접근 항로 계산

1) Case B-1(수심 : 23.5m)

접근 항로 수심 23.5m에 대한 Squat 계산 결과는 다음과 같다.

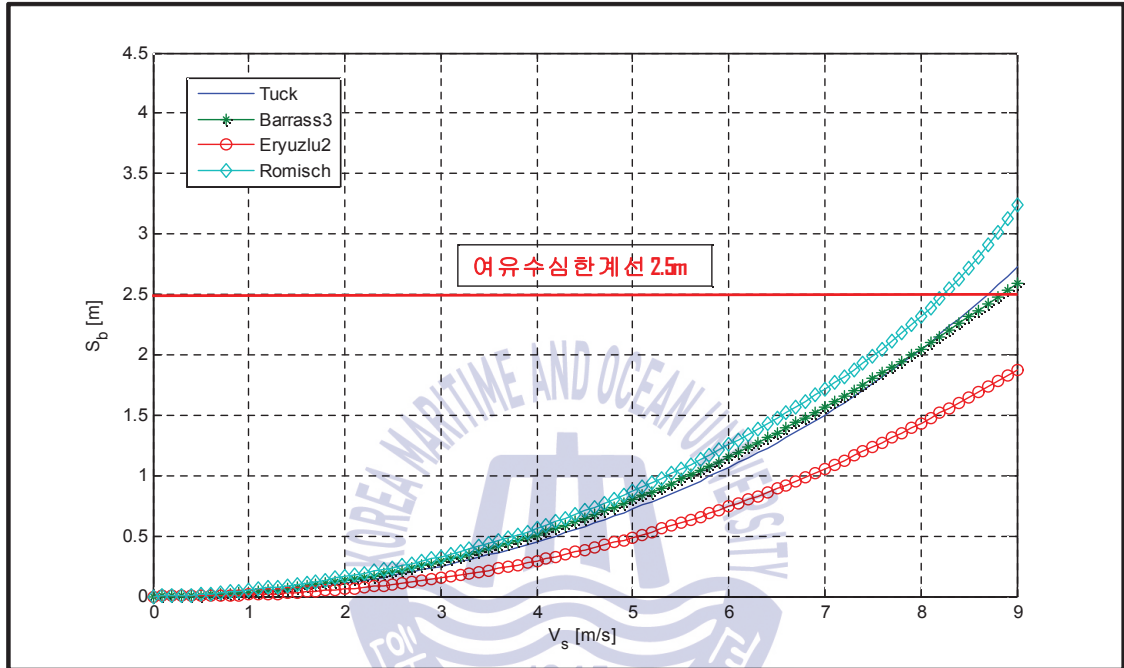


Fig. 4.11 300,000 DWT급 탱커선의 선수 Squat(수심 : 23.5m)

Table 4.16 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 평균해수면(수심 23.5m)

	선속별(m/s) 수 선체침하량(m)											
선속(m/s)	2.0	2.4	3.0	4.0	4.4	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	8.6
선속(kts)	3.9	4.7	5.8	7.8	8.6	9.7	10.7	11.7	12.6	13.6	15.6	16.7
Tuck	0.11	0.16	0.26	0.47	0.57	0.74	0.91	1.10	1.31	1.55	2.11	2.52
Barrass	0.13	0.18	0.29	0.51	0.62	0.80	0.97	1.15	1.35	1.57	2.05	2.37
Eryuzlu	0.06	0.09	0.16	0.30	0.37	0.50	0.62	0.76	0.92	1.08	1.47	1.74
Römis	0.16	0.22	0.33	0.57	0.69	0.89	1.07	1.28	1.50	1.75	2.37	2.90

항로내 최저 수심 지역의 평균해수면의 수심(23.5m)때의 계산 결과, 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.5m/s(12.6kts)에서 Römis 공식이 1.50m로 가장 컸으며, Eryuzlu 공식에서 0.92m로 가장 작았다. 그리고 여유 수심 2.5m를 넘는 범위는 Tuck과 Römis의 공식에서 대상선박의

Nav. Full ahead의 속력인 8.6m/s(16.76kts)에서 넘는 것으로 나타났고, Eryuzlu, Barrass의 공식에서는 최대 속력에서도 넘지 않는 것으로 나타났다. 안전 UKC 0.5m를 적용하였을 때 Eryuzlu2을 제외하고는 8.0m/s(15.6kts)의 속력 이상에서는 넘는 계산 결과가 나왔다.

## 2) Case B-2(최대흘수의 15%, 24.15m)

대상 선박의 최대흘수의 15%일 때 수심의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

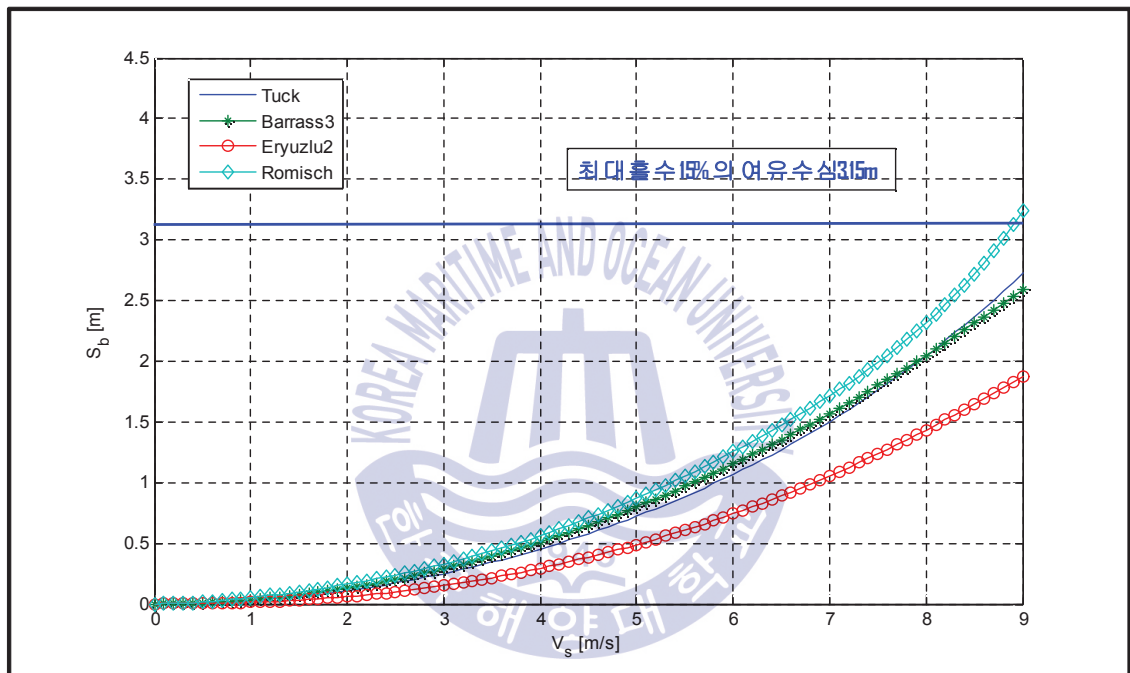


Fig. 4.12 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 24.15m)

Table 4.17 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 흘수대비 15%(수심 24.15m)

	선속별(m/s) 선수 선체침하량(m)											
선속(m/s)	2.0	2.4	3.0	4.0	4.4	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	8.6
선속(kts)	3.9	4.7	5.8	7.8	8.6	9.7	10.7	11.7	12.6	13.6	15.6	16.7
Tuck	0.11	0.16	0.26	0.47	0.57	0.74	0.91	1.10	1.31	1.55	2.11	2.52
Barrass	0.13	0.18	0.29	0.51	0.62	0.80	0.97	1.15	1.35	1.57	2.05	2.37
Eryuzlu	0.06	0.09	0.16	0.30	0.37	0.50	0.62	0.76	0.92	1.08	1.47	1.74
Römisch	0.16	0.22	0.33	0.57	0.69	0.89	1.07	1.28	1.50	1.75	2.37	2.90

항로의 수심 기준인 최대흘수 15%인 수심(24.15m)에서 squat계산 결과, 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.5m/s(12.6kts)에서 Römisch 공식이 1.50m로 가장 컸으며, Eryuzlu 공식에서 0.92m로 가장 작았다. 여유 수심 3.15m를 넘는 범위는 모든 공식에서 나오지 않았다. 대상선박의 최대속력인 Nav. Full ahead 속력인 8.6m/s(16.8kts)에서도 여유 수심 3.15m를 초과하지 않았다. 안전 UKC 0.5m를 고려한 2.65m를 넘어서는 속력은 Römisch 공식에서만 대상선박의 최대속력인 8.6m/s(16.7kts)에서 이었다.

#### 4.2.3. 여수항(300,000 DWT급 탱커)

여수항에는 GS 원유부두가 있다. 이 원유부두를 통해 300,000 DWT급의 탱커가 입출항하고 있다. 원유부두의 부두 앞 수심은 최저 수심이 22m이었고, 부두 주변 중 가장 낮은 수심은 21m이었다. 그리고 원유부두를 입항하는 대형 탱커를 위한 DW(Deep water) 항로 중에서 가장 낮은 수심은 22m이었으며, 그 중 저질이 바위(Rock)으로 된 곳이 있었다. PIANC에서는 저질이 바위인 경우 항내 수로에서도 0.6m의 흘수가 증가하는 효과가 있어 이를 고려하라고 권고하였지만 안전 UKC 0.5m를 본 연구에서는 적용하였다.

계산은 대상선박의 최대 흘수가 약 21m인 점을 고려할 때 기본수준면에서의 가장 낮은 수심과 동일하므로, 계산을 생략하였고, 평균해면, 평균고조위때 2개의 수심과 항내 및 항로의 기준치에 달하는 수심에서 선속에 따른 Squat 값을 계산하였다. 항내에서는 대상 선박의 Dead slow ahead 속력인 4.7knots부터 나올 수 있도록 속력은 m/s 단위를 사용하여 2~8.6m/s로 계산하였다.

여수의 GS원유부두의 수심 및 항내 수심을 계산하기 위하여 아래의 Fig. 4.4와 4.5의 위치의 수심 값을 참조하였다.

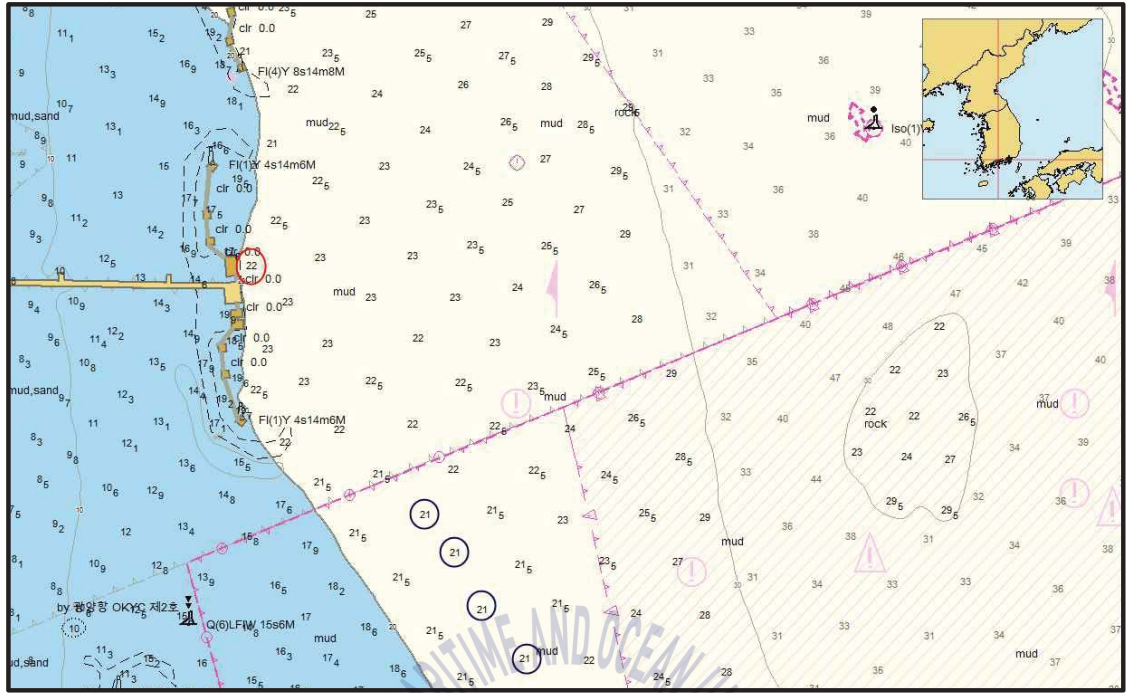


Fig. 4.13 여수 GS 원유부두 배치 및 수심

여수항은 부산항, 울산항과 달리 조고의 차이가 나는 항구로써 조석정보는 Table 4.5와 같다.

Table. 4.18 여수항의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원)

대조승	3.3m	소조승	2.3m
평균해면	1.81m	평균고조위	2.8m

여수항에 입항하는 최대 크기의 선박인 300,000 DWT 급 탱커에 대한 Squat 값 계산의 조건을 정리하면 다음의 표와 같다.

Table. 4.19 여수항, 대상선박 Squat 계산 조건

시나리오 번호	수심조건	대상선박 속력범위	Remark
Case C-1	22.8m(평균해수면 상 수심) - 해도상 최저 수심 22m	2~8.6m/s (3.9~16.8 knots)	항내 항로
Case C-2	23.2m(최대홍수의 10% 대비 수심)		
Case C-3	22m(항로상 최저 수심 및 기본수면 상 수심)		접근 항로
Case C-4	23.8m(평균해수면 상 수심)		
Case C-5	24.15m(최대홍수의 15% 대비 수심)		

#### 4.2.3.1 항내 항로 계산

1) Case C-1(수심 : 22.8m)

접근 항로의 수심 22.8m에 대한 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

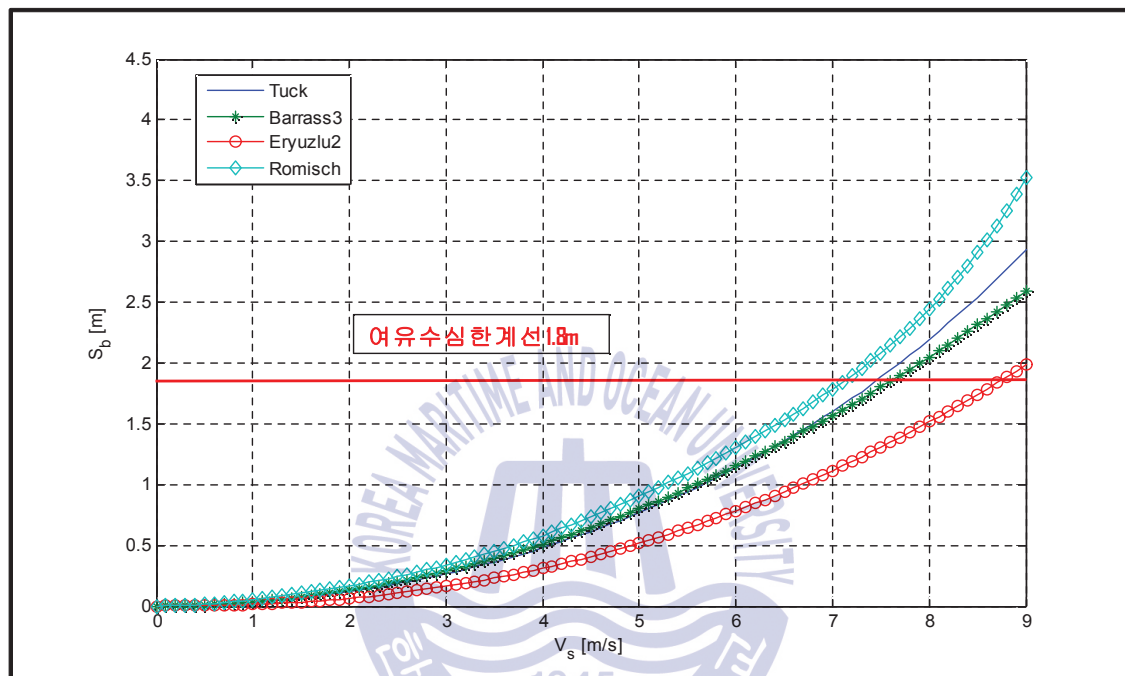


Fig. 4.15 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 22.8m)

Table 4.20 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 평균해수면(수심 22.8m)

	선속별 선수 선체침하량(m)											
선속(m/s)	2.0	2.4	3.0	4.0	4.4	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	8.6
선속(kts)	3.9	4.7	5.8	7.8	8.6	9.7	10.7	11.7	12.6	13.6	15.6	16.7
Tuck	0.12	0.17	0.27	0.48	0.59	0.77	0.94	1.14	1.36	1.60	2.19	2.61
Barrass	0.13	0.18	0.29	0.51	0.62	0.80	0.97	1.15	1.35	1.57	2.05	2.37
Eryuzlu	0.06	0.10	0.16	0.31	0.39	0.52	0.64	0.78	0.94	1.12	1.52	1.79
Römisch	0.17	0.23	0.34	0.58	0.70	0.90	1.09	1.30	1.53	1.79	2.44	3.01

항내 최저 수심 지역의 평균해수면의 수심(22.8m)때의 계산 결과, 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.5m/s(12.6kts)에서 Römisch 공식이 1.53m로 가장 컸으며, Eryuzlu 공식에서 0.94m로 가장 작았다. 여유 수심 1.8m를 넘는 범위는 Eryuzlu의 공식을 제외하고는 대상선박의 속력이



7.0m/s(13.6kts)를 넘어가면서 발생하였다. 선박의 조종속력 범위 내에서는 넘지 않는 것으로 계산되었으며 선박의 항해속력이 최고속력 범위에서는 넘는 것으로 계산되었다. 다만 안전 UKC를 고려하면 대상선박의 Full ahead 속력인 6.5m/s(12.6kts)에서도 위험할 수 있다는 결과가 도출되었다.

## 2) Case C-2(수심 : 23.2m)

항내 항로 23.2m에 대한 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

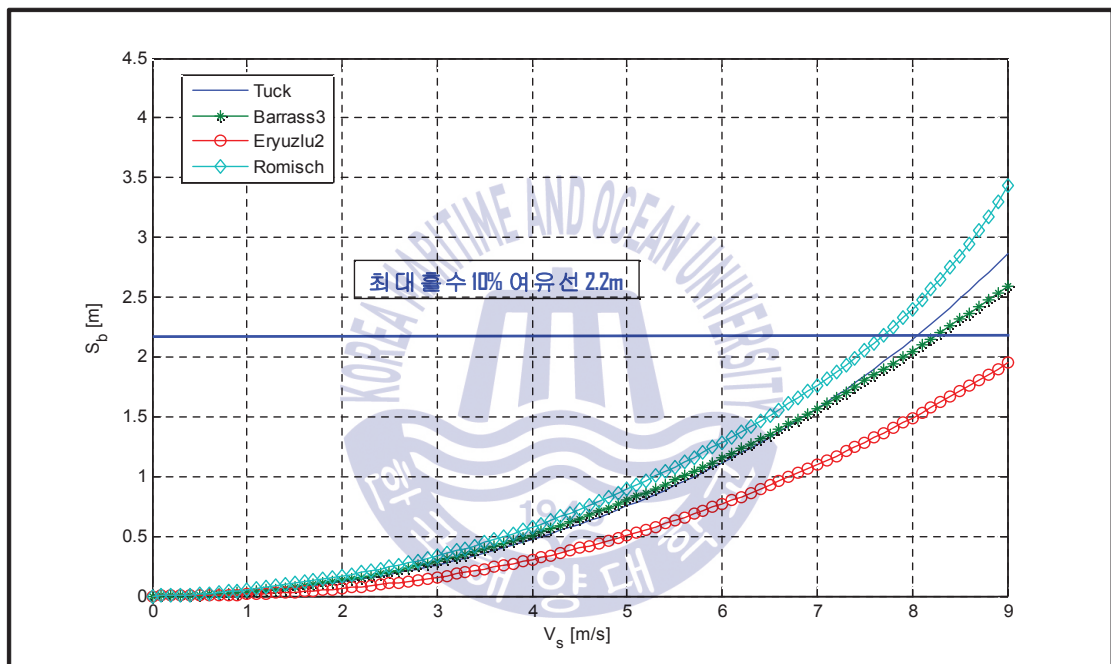


Fig. 4.16 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 23.2m)

Table 4.21 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 흘수대비 10%(수심 23.2m)

	선속별 선수 선체침하량(m)											
선속(m/s)	2.0	2.4	3.0	4.0	4.4	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	8.6
선속(kts)	3.9	4.7	5.8	7.8	8.6	9.7	10.7	11.7	12.6	13.6	15.6	16.7
Tuck	0.11	0.17	0.26	0.47	0.58	0.75	0.92	1.12	1.33	1.57	2.15	2.55
Barrass	0.13	0.18	0.29	0.51	0.62	0.80	0.97	1.15	1.35	1.57	2.05	2.37
Eryuzlu	0.06	0.09	0.16	0.30	0.38	0.51	0.63	0.77	0.93	1.10	1.49	1.76
Römisch	0.17	0.23	0.33	0.57	0.69	0.89	1.08	1.29	1.51	1.76	2.40	2.95

항내 수심 기준인 대상 선박의 흘수 대비 10%인 수심(23.2m)에서는 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.5m/s(12.6kts)에서 Römisch 공식이 1.51m로 가장 컸으며, Eryuzlu 공식에서 0.93m로 가장 작았다. Römisch의 공식에서는 8.0m/s(16.7kts)의 속력, Tuck와 Barrass의 공식에서는 대상선박 최대속력인 8.6m/s(16.7kts)의 속력에서 여유 수심 2.2m을 넘는 값으로 계산되었다.

#### 4.2.3.2 접근 항로 계산

##### 1) Case C-3(수심 : 22m)

진입 항로 22m에 대한 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

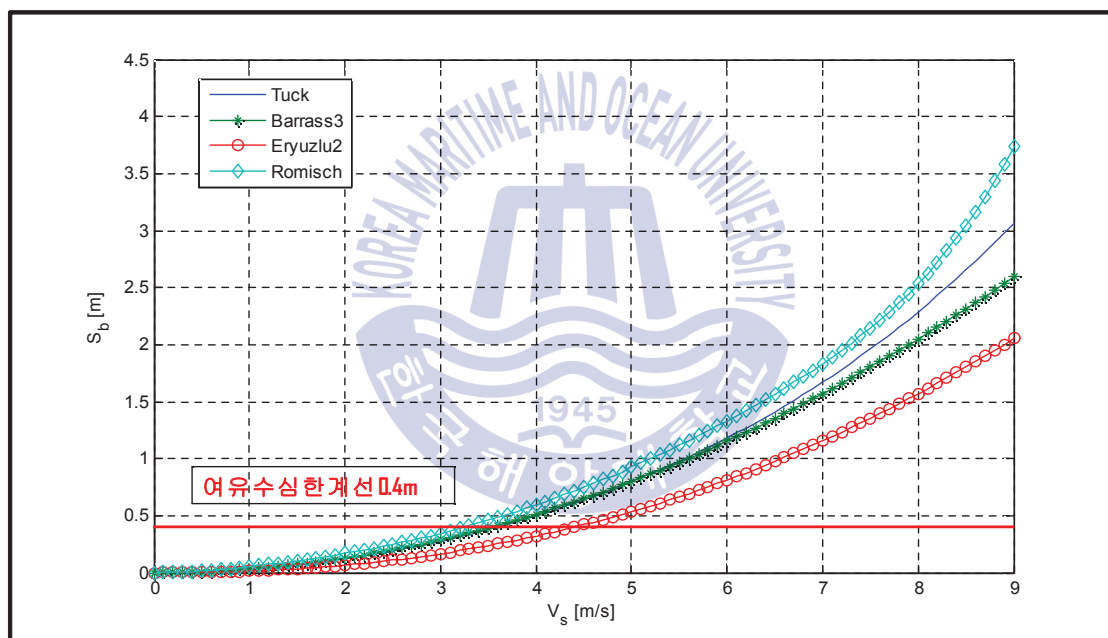


Fig. 4.17 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 22m)

Table 4.22 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 기본수준면(수심 22m)

	선속별(m/s) 선수 선체침하량(m)											
선속(m/s)	2.0	2.4	3.0	4.0	4.4	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	8.6
선속(kts)	3.9	4.7	5.8	7.8	8.6	9.7	10.7	11.7	12.6	13.6	15.6	16.7
Tuck	0.12	0.18	0.28	0.50	0.61	0.80	0.98	1.18	1.41	1.67	2.29	2.73
Barrass	0.13	0.18	0.29	0.51	0.62	0.80	0.97	1.15	1.35	1.57	2.05	2.37
Eryuzlu	0.07	0.10	0.17	0.32	0.40	0.54	0.67	0.81	0.98	1.16	1.57	1.85
Römisch	0.17	0.23	0.34	0.59	0.72	0.92	1.12	1.33	1.57	1.83	2.53	3.16

여수 DW 항로에서 가장 낮은 수심의 기본수준면(22m)에서의 계산 결과, 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.5m/s(12.6kts)에서 Römisch 공식이 1.57m로 가장 컸으며, Eryuzlu 공식에서 0.98m로 가장 작았다. 그리고 대상선박 최대흘수(20.996m)에 비해 1m의 여유 수심이 있으나 안전 여유 수심 0.5m를 초과하는 범위는 Eryuzlu 공식에서는 선속 4.4m/s(8.6kts), 기타 이외의 공식에서는 4.0m/s(7.8kts)였다. 이는 선박의 Dead slow ahead 속력 이상일 경우 여유 수심이 없는 것으로 계산되었다.

## 2) Case C-4(수심 : 23.8m)

진입 항로 수심 23.8m에 대한 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

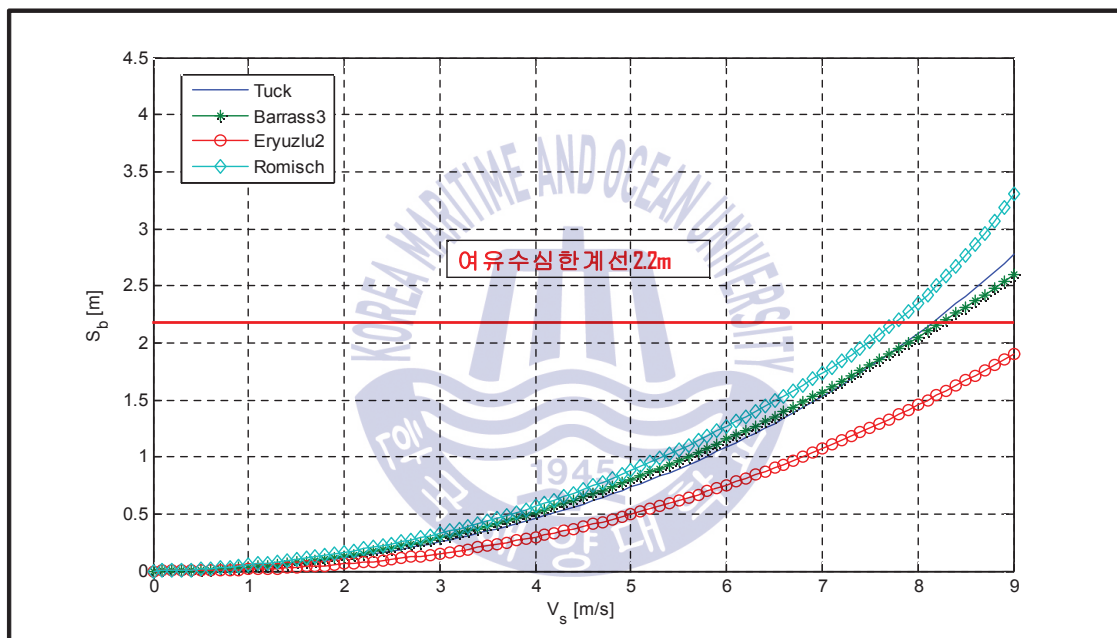


Fig. 4.18 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 23.8m)

**Table 4.23** 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 평균해수면(수심 23.8m)

	선속별(m/s) 선수 선체침하량(m)											
선속(m/s)	2.0	2.4	3.0	4.0	4.4	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	8.6
선속(kts)	3.9	4.7	5.8	7.8	8.6	9.7	10.7	11.7	12.6	13.6	15.6	16.7
Tuck	0.11	0.16	0.25	0.46	0.56	0.73	0.90	1.08	1.29	1.53	2.08	2.48
Barrass	0.13	0.18	0.29	0.51	0.62	0.80	0.97	1.15	1.35	1.57	2.05	2.37
Eryuzlu	0.06	0.09	0.15	0.30	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.07	1.45	1.72
Römisch	0.16	0.22	0.33	0.57	0.68	0.88	1.06	1.27	1.49	1.73	2.35	2.86

평균해수면 수심(23.8m)에서의 계산 결과, 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.5m/s(12.6kts)에서 Römisch 공식이 1.49m로 가장 컸으며, Eryuzlu 공식에서 0.90m로 가장 작았다. 그리고 Römisch의 공식에서는 8.6m/s(16.7kts)의 속력, Tuck와 Barrass의 공식에서는 8.0m/s(15.6kts)의 속력에서 여유 수심 2.8m을 넘는 값으로 계산되었다.

### 3) Case C-5(최대흘수의 15%, 24.15m)

대상 선박의 최대흘수 15%의 수심일 때의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

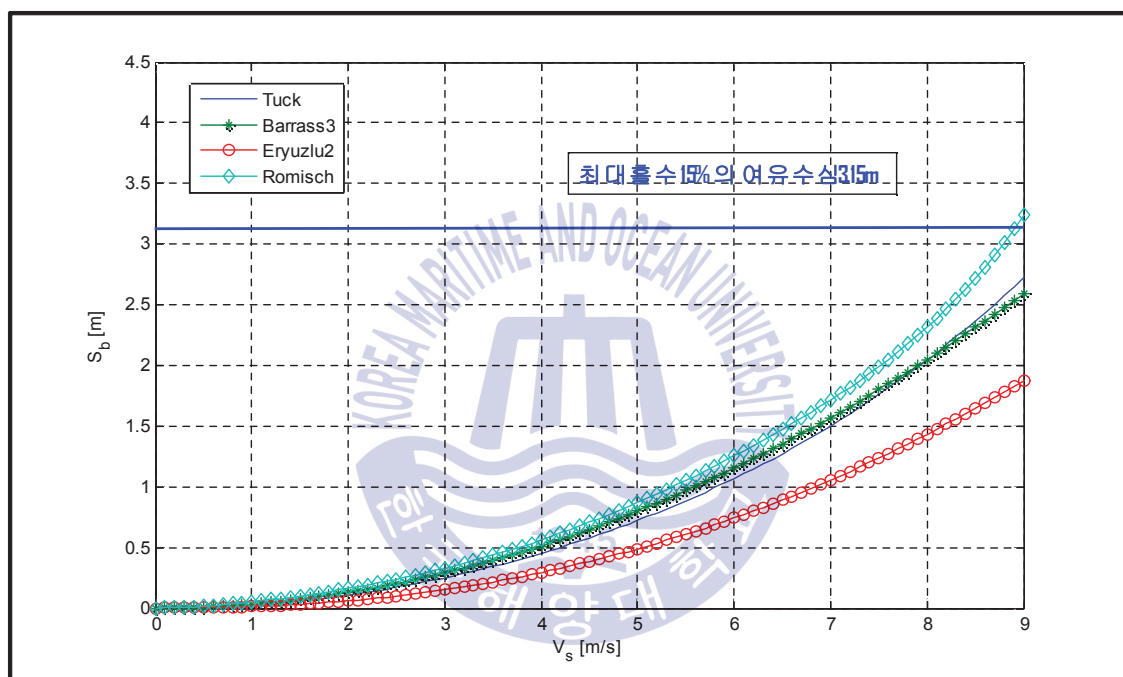


Fig. 4.20 300,000 DWT 탱커선의 선수 Squat(수심 : 24.15m)

Table 4.24 300,000 DWT급 탱커선 선수 squat(m), 흘수대비 15%(수심 24.15m)

	선속별(m/s) 선수 선체 침하량(m)											
선속(m/s)	2.0	2.4	3.0	4.0	4.4	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	8.6
선속(kts)	3.9	4.7	5.8	7.8	8.6	9.7	10.7	11.7	12.6	13.6	15.6	16.7
Tuck	0.11	0.16	0.26	0.47	0.57	0.74	0.91	1.10	1.31	1.55	2.11	2.52
Barrass	0.13	0.18	0.29	0.51	0.62	0.80	0.97	1.15	1.35	1.57	2.05	2.37
Eryuzlu	0.06	0.09	0.16	0.30	0.37	0.50	0.62	0.76	0.92	1.08	1.47	1.74
Römisch	0.16	0.22	0.33	0.57	0.69	0.89	1.07	1.28	1.50	1.75	2.37	2.90

항로의 수심 기준인 최대흘수 15%인 수심(24.15m)에서 squat계산 결과, 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.5m/s(12.6kts)에서 Römisch 공식이 1.50m로 가장 컸으며, Eryuzlu 공식에서 0.92m로 가장 작았다. 그리고 여유 수심 3.15m를 넘는 범위는 없었으며, 안전 UKC를 고려해 보면 Römisch 공식에서만 대상선박의 최대속력인 Nav. Full ahead 속력을 8.6m/s에서 초과하는 것으로 나왔다.

#### 4.2.4. 300,000 DWT급 벌크선(광양항)

광양항 중에서 광양지구에 있는 원료부두는 250,000 DWT급 벌크선이 접안 가능한 선석이 있으며, 현재 최대 300,000 DWT급 벌크선이 입항하고 있다. 원료부두에 대형 벌크선이 접안하는 부두의 수심은 24m이며, 항내의 최저 수심은 21.5m이다. 대형선들이 통항하는 DW(Deep water) 항로에서 최저수심은 20.6m이었다.

계산은 대상선박의 최대흘수가 21.3m이므로 기본수준면에서의 값은 의미가 없으므로, 평균해면, 평균고조위때 2개의 수심일 때, 선속에 따른 Squat 값을 계산하였다. 항내 및 항로에서는 대상 선박의 조종속력인 Dead slow ahead 속력부터 최대속력까지 계산할 수 있도록 m/s 단위를 사용하여 0~6.5m/s로 계산하였다.

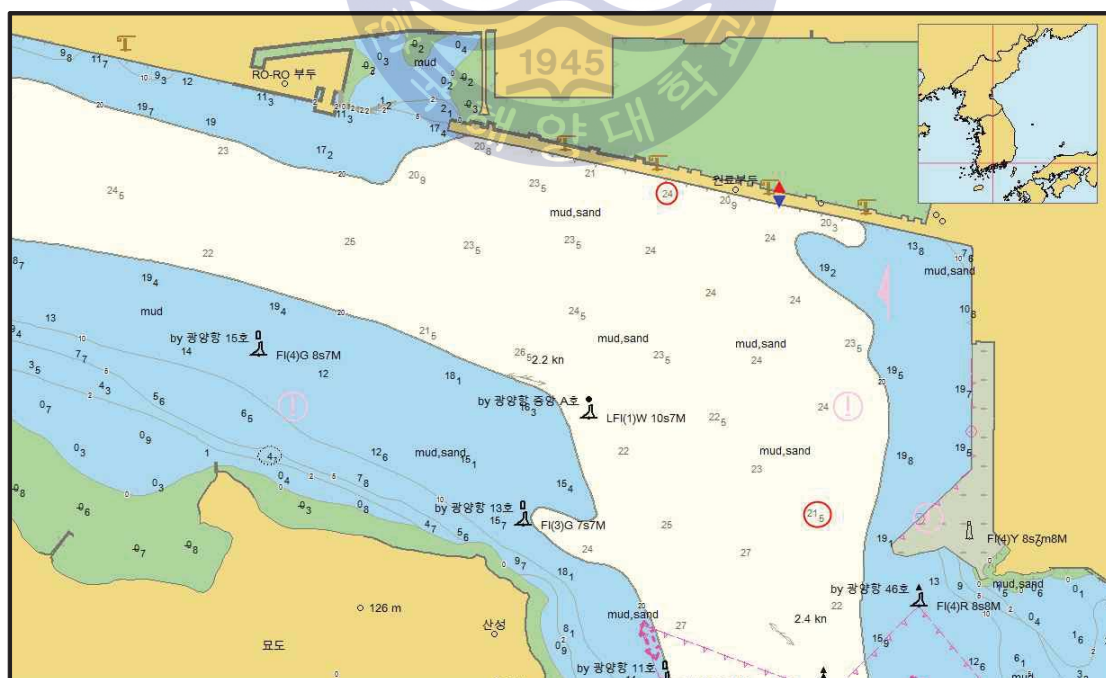


Fig. 4.21 광양항 원료부두의 항내 수심 및 Squat 계산 해당지역(자료출처 : 국립해양조사원)



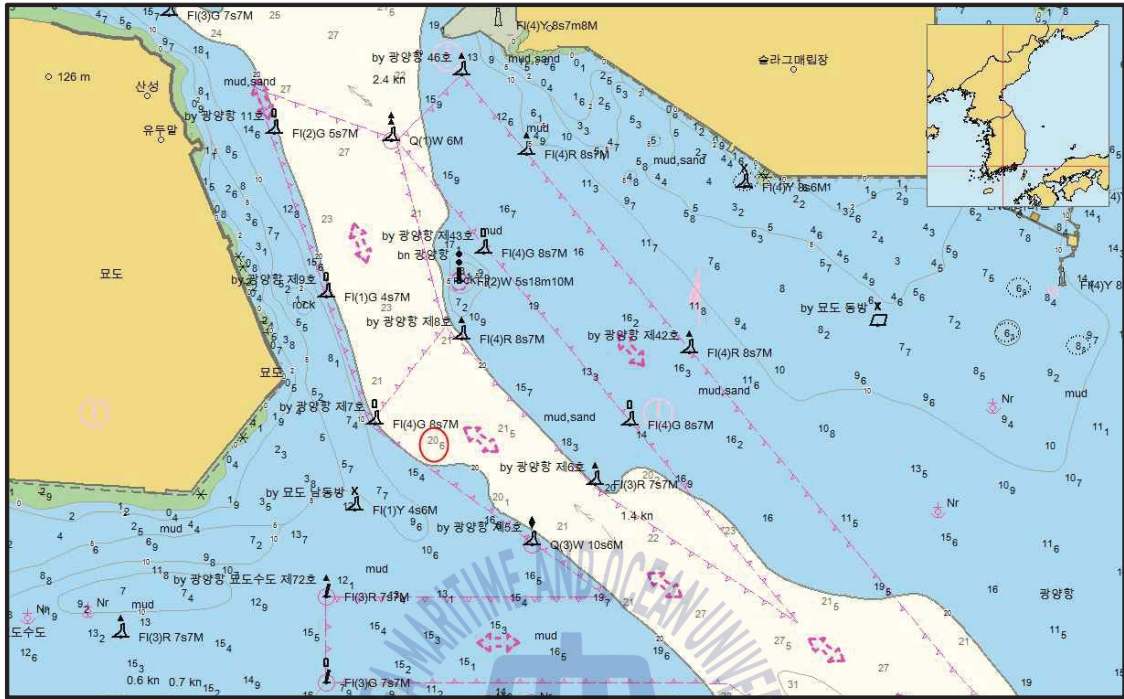


Fig. 4.22 광양항의 항로 및 Squat 계산 해당지역(자료출처 : 국립해양조사원)

광양항의 조석정보는 다음과 같다.

Table. 4.25 광양항의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원)

대조승	3.5m	소조승	2.5m
평균해면	1.9m	평균고조위	3.0m

앞에서 언급한 광양항 원료부두에 입항하는 최대 크기의 선박인 300,000 DWT 급 벌크선에 대한 Squat 값 계산의 조건을 정리하면 다음의 표와 같다.

Table. 4.26 광양항, 대상선박 Squat 계산 조건

시나리오 번호	수심조건	대상선박 속력범위	Remark
Case D-1	23.5m(평균해수면 수심, 최대홍수의 10% 대비 수심) - 해도상 최저 수심 21.5m	1~6.4m/s (1.9~12.4 knots)	항내 항로
Case D-2	22.4m(항로상 최저 수심 및 평균해수면 수심)		접근 항로
Case D-3	24.5m(최대홍수의 15% 대비 수심)		

#### 4.2.4.1 항내 항로 계산

1) Case D-1(수심 : 23.5m 및 최대흘수 10% 계산)

항내 항로 수심 23.5m의 경우 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

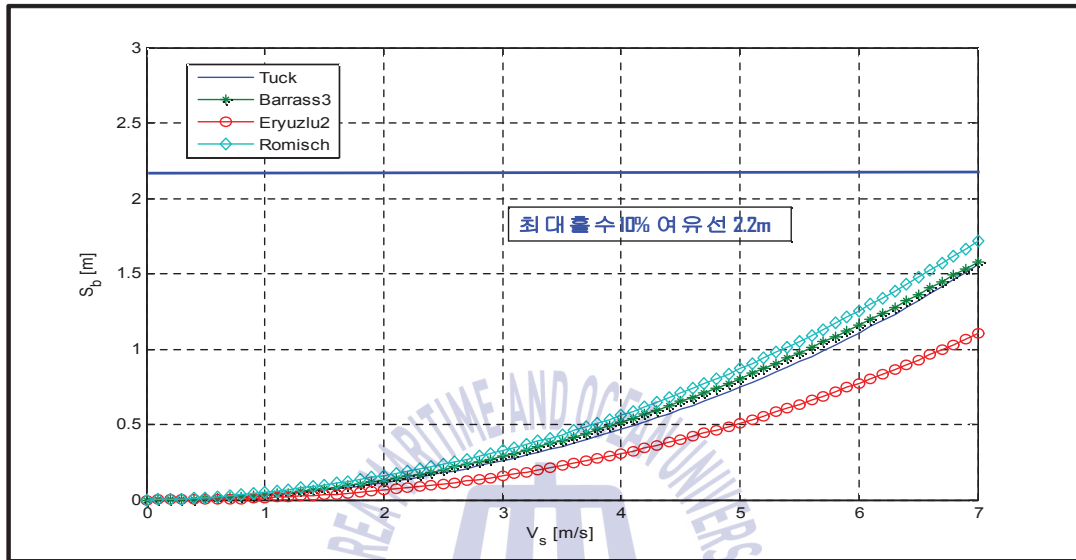


Fig. 4.23 300,000 DWT 벌크선의 선수 Squat(수심 : 23.5m)

Table 4.27 300,000 DWT급 벌크선 선수 squat(m), 흘수대비 10%(수심 23.5m)

	선속별 선수 선체침하량(m)								
선속(m/s)	1.0	2.0	2.6	3.0	4.0	4.6	5.0	6.0	6.4
선속(kts)	1.9	3.9	5.1	5.8	7.8	8.9	9.7	11.7	12.4
Tuck	0.05	0.16	0.19	0.33	0.56	0.63	0.87	1.25	1.28
Barrass	0.03	0.13	0.22	0.29	0.52	0.68	0.81	1.16	1.32
Eryuzlu	0.01	0.06	0.11	0.16	0.31	0.42	0.51	0.77	0.90
Römis	0.05	0.16	0.25	0.33	0.56	0.74	0.87	1.25	1.43

300,000 DWT급 벌크선의 항내 수심 기준인 최대흘수 대비 10% 및 최저 수심의 평균해수면의 수심(23.5m)에서의 속력별 계산한 결과 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.0m/s(11.7kts)에서 Römisch 공식이 1.25m로 가장 컸으며, Eryuzlu 공식에서 0.77m로 가장 작았다. 그리고 여유 수심인 2.2m를 초과하는 값은 나오지 않았다.

#### 4.2.4.2 접근 항로 계산

1) Case D-2(수심 : 22.4m)

접근 항로 수심 22.4m일 때의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

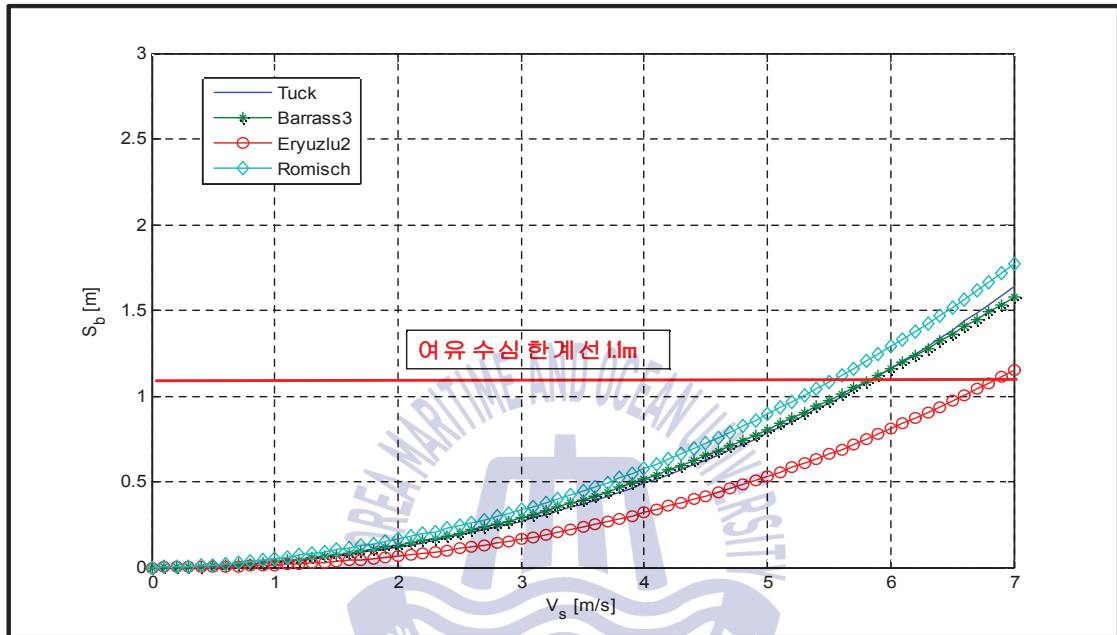


Fig. 4.24 300,000 DWT 벌크선의 선수 Squat(수심 : 22.4m)

Table 4.28 300,000 DWT급 벌크선 선수 squat(m), 기본수준면 (수심 22.4m)

	선속별 선수 선체침하량(m)								
선속(m/s)	1.0	2.0	2.6	3.0	4.0	4.6	5.0	6.0	6.4
선속(kts)	1.9	3.9	5.1	5.8	7.8	8.9	9.7	11.7	12.4
Tuck	0.03	0.12	0.20	0.27	0.49	0.66	0.78	1.16	1.34
Barrass	0.03	0.13	0.22	0.29	0.52	0.68	0.81	1.16	1.32
Eryuzlu	0.01	0.07	0.12	0.17	0.32	0.44	0.53	0.81	0.94
Römis	0.05	0.17	0.26	0.33	0.57	0.76	0.89	1.29	1.47

항로내의 최저 수심의 기본수준면의 수심(22.4m)에서의 계산 결과, 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.0m/s(11.7kts)에서 Römis 공식이 1.29m로 가장 컸으며, Eryuzlu 공식에서 0.81m로 가장 작았다. 그리고 여유 수심 1.1m에 대해 Eryuzlu의 공식을 제외한 세 식에서 대상선박의 Full ahead 속력인 6.0m/s(11.7kts)에서 초과하는 것으로 계산 결과가 나왔다. 안전 UKC 고

려했을 때는 Half ahead 속력인 4.6m/s(8.9kts)에서 초과하는 것으로 결과가 도출되었다.

## 2) Case D-3((최대흘수의 15%, 24.5m)

대상선박의 최대흘수 15%일 때의 수심에서의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

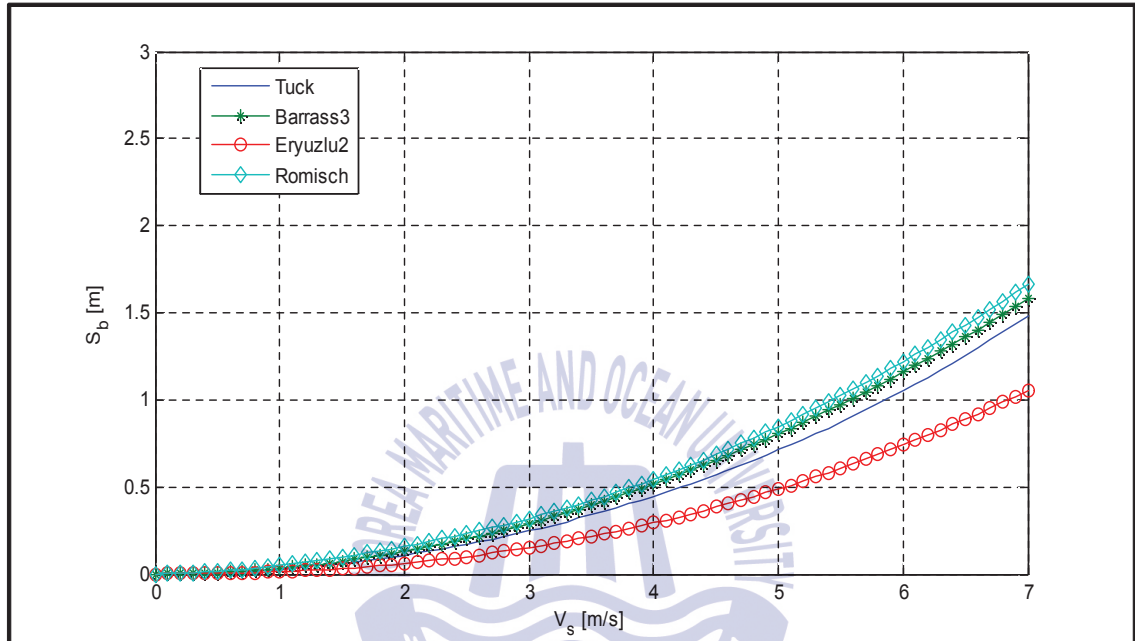


Fig. 4.25 300,000 DWT 벌크선의 선수 Squat(수심 : 24.5m)

Table 4.29 300,000 DWT급 벌크선 선수 squat(m), 최대흘수 15% (수심 24.5m)

	선속별(m/s) 선수 선체침하량(m)								
선속(m/s)	1.0	2.0	2.6	3.0	4.0	4.6	5.0	6.0	6.4
선속(kts)	1.9	3.9	5.1	5.8	7.8	8.9	9.7	11.7	12.4
Tuck	0.03	0.12	0.19	0.27	0.49	0.60	0.78	1.16	1.21
Barrass	0.03	0.13	0.22	0.29	0.52	0.68	0.81	1.16	1.32
Eryuzlu	0.01	0.06	0.11	0.15	0.29	0.40	0.49	0.74	0.86
Römisch	0.05	0.16	0.25	0.32	0.55	0.72	0.85	1.22	1.39

300,000 DWT급 벌크선의 항로 수심 기준인 최대흘수 대비 15%의 수심(24.5m)에서의 속력 별 계산한 결과 여유 수심인 3.4m를 초과하는 값은 나오지 않았다.

#### 4.2.5. 150,000 m³ 급 LNG선(인천항)

인천항을 입출항하는 선박 중 가장 큰 선박은 LNG선이다. 인천항의 LNG부두는 부두앞 전면 수심이 13.2m이다. 부두 부근에 최저 수심은 12.8m이다. LNG부두로 입항하는 항로 상의 최저 수심은 11.9m이다.

대상선박의 최대 흘수가 12.6m이므로 항내 및 항로의 Squat 계산은 평균해수면의 수심일 때, 선속에 따른 Squat 값을 계산하였다. 속력의 범위는 항내에서는 대상 선박의 Dead slow ahead 속력인 5.5knots부터 Full ahead 속력인 12.5kts가 표시될 수 있도록 m/s 단위를 사용하여 2~7m/s로 계산하였다. 그리고 항내의 수심기준인 대상선박 최대흘수 대비 10%의 수심에서 계산하였다. 항로에서는 속력의 범위를 최대속력인 10.8m/s까지 하여 2~10.8m/s로, 최저 수심의 평균해수면의 수심과 대상선박의 최대흘수 대비 15%의 수심에서 계산하였다.

인천항의 LNG부두 및 항로 수심을 계산하기 위하여 아래의 Fig. 4.26와 4.27의 위치의 수심 값을 참조하였다.

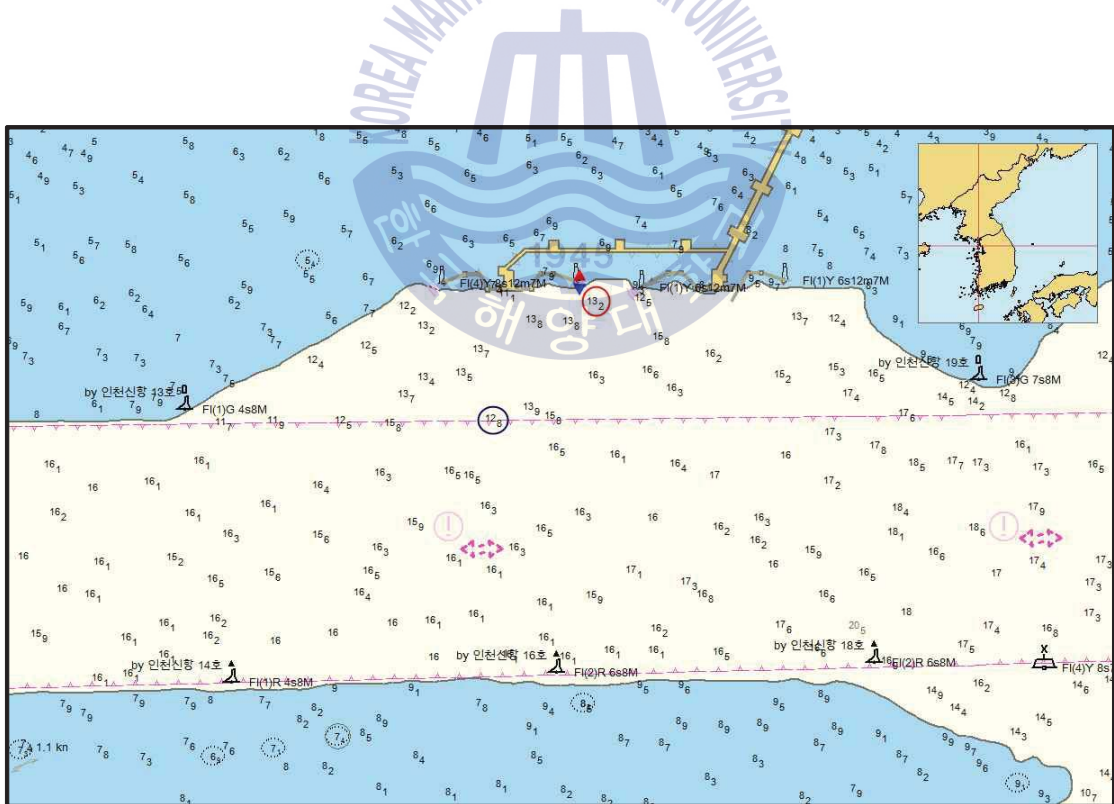


Fig. 4.26 인천항 LNG부두의 항만 배치 및 수심(자료출처 : 국립해양조사원)



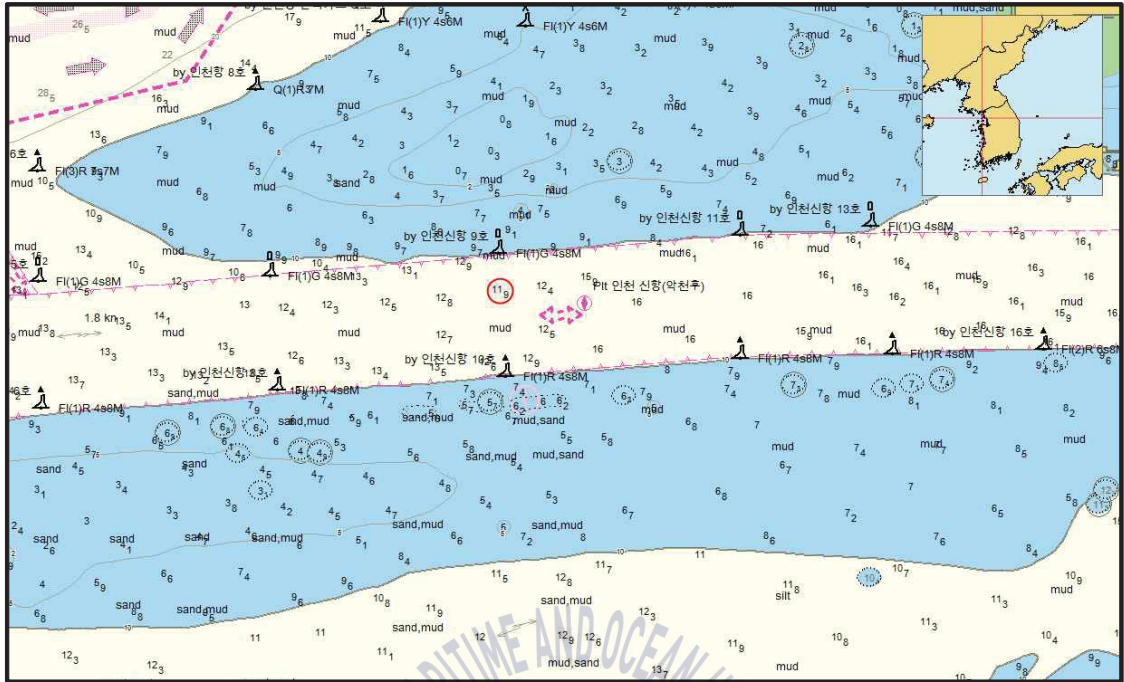


Fig. 4.27 인천항 LNG부두 항로 배치 및 Squat 계산 수심(자료출처 : 국립해양조사원)

인천항 부근의 조석정보는 Table 4.30와 같다.

Table. 4.30 인천항의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원)

대조승	8.623m	소조승	6.37m
평균해면	4.64m	평균고조위	7.5m

인천항 LNG부두에 입항하는 최대 크기의 선박인 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선에 대한 Squat 값 계산의 조건을 정리하면 다음의 표와 같다.

Table. 4.31 인천항, 대상선박 Squat 계산 조건

시나리오 번호	수심조건	대상선박 속력범위	Remark
Case E-1	17.2m(평균해수면 상 수심) -해도상 최저 수심 12.8m	2~7m/s (3.9~13.6 knots)	항내 항로
Case E-2	13.9m(최대흘수의 10% 대비 수심)		
Case E-3	16.5m(평균해수면 상 수심) -해도상 최소수심 11.9m	2~11m/s (3.9~21.4knots)	접근 항로
Case E-4	14.5m(최대흘수의 15% 대비 수심)		

#### 4.2.5.1 항내 항로 계산

##### 1) Case E-1(수심 : 17.2m) 계산

항내 항로 수심 17.2m에서의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

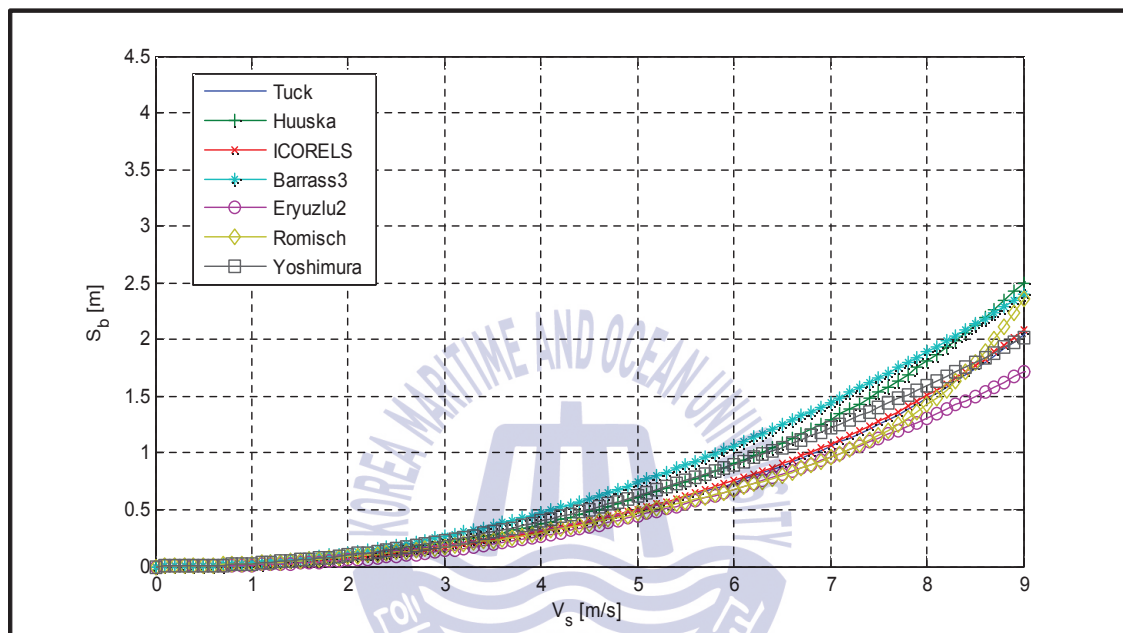


Fig. 4.28 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 17.2m)

Table. 4.32 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat, 평균해수면(수심 17.2m)

	선속별 선수 선체침하량(m)									
선속(m/s)	2.0	2.8	3.0	4.0	4.1	5.0	5.4	6.0	6.4	7.0
선속(kts)	3.9	5.4	5.8	7.8	8.0	9.7	10.5	11.7	12.4	13.6
Tuck	0.07	0.15	0.17	0.31	0.32	0.49	0.58	0.74	0.86	1.06
Huuska	0.09	0.18	0.21	0.37	0.39	0.60	0.71	0.90	1.05	1.30
ICORELS	0.08	0.15	0.17	0.31	0.33	0.50	0.60	0.75	0.87	1.08
Barrass	0.12	0.23	0.27	0.47	0.50	0.74	0.86	1.06	1.21	1.45
Römisch	0.08	0.15	0.17	0.30	0.32	0.47	0.55	0.68	0.78	0.96
Yoshimura	0.10	0.20	0.22	0.40	0.42	0.62	0.73	0.90	1.02	1.22

인천항의 최저 수심(12.8m)의 평균해수면 수심(17.2m)에서는 계산 결과, 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.4m/s(12.4kts)에서 Barrass의 공식이 1.21m로 가장 컸으며, Römisch 공식에서 0.78m로 가장 작았다. 모든 Squat 공식이 여유수심 4.6m이하였다.

우리나라 서해안의 항구들은 조수간만의 차가 커서 고조시 및 평균해수면에서는 충분한 수심을 확보한다는 것을 확인할 수 있었다.

## 2) Case E-2(최대흘수의 10%, 13.9m)

대상 선박의 최대흘수 10%의 수심 일 때 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

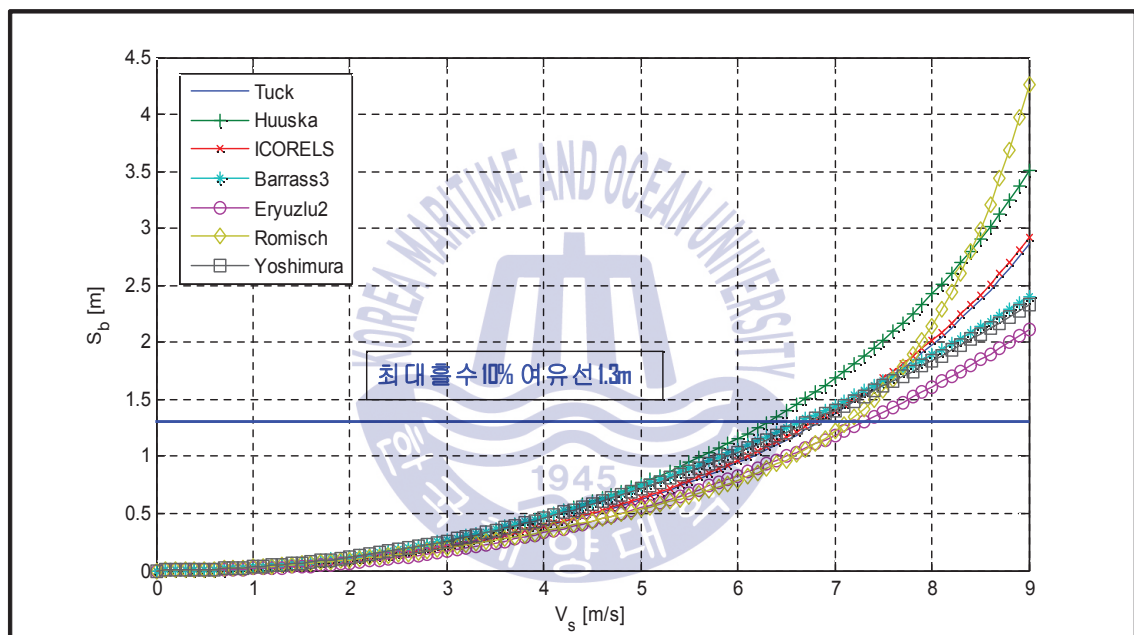


Fig. 4.29 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 13.9m)

Table. 4.33 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(m), 최대흘수 10%(수심 13.9m)

	선속별 선수 선체침하량(m)									
선속(m/s)	2.0	2.8	3.0	4.0	4.1	5.0	5.4	6.0	6.4	7.0
선속(kts)	3.9	5.4	5.8	7.8	8.0	9.7	10.5	11.7	12.4	13.6
Tuck	0.11	0.18	0.26	0.36	0.40	0.72	0.74	1.03	1.10	1.41
Huuska	0.11	0.22	0.26	0.47	0.49	0.76	0.91	1.16	1.35	1.69
ICORELS	0.09	0.19	0.21	0.39	0.41	0.64	0.76	0.96	1.12	1.41
Barrass	0.12	0.23	0.27	0.47	0.48	0.74	0.86	1.06	1.21	1.45
Römisch	0.09	0.17	0.19	0.34	0.36	0.54	0.63	0.79	0.93	1.22
Yoshimura	0.11	0.23	0.26	0.46	0.48	0.72	0.84	1.03	1.18	1.41

인천항의 대상선박의 최대흘수 10%(수심 13.9m)에서 수행한 계산 결과, 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.4m/s(12.4kts)에서 Huuska의 공식이 1.35m로 가장 컸으며, Römisch 공식에서 0.93m으로 가장 작았다. 여유 수심 1.3m를 넘어가는 경우는 Huuska의 공식은 Full ahead 속력인 6.4m/s(12.4kts)부터였고 그 외의 공식은 약 7.0m/s(13.6kts)의 속력에서 여유 수심을 초과하는 것으로 나왔다. 안전 UKC를 고려했을 때는 대부분의 공식이 6.0m/s(11.7kts)에서 초과하는 것으로 나왔고 일부 공식에서는 Half ahead 속력인 5.4m/s(10.5kts)에서도 초과하는 것으로 나왔다.

#### 4.2.5.2 접근 항로 계산

##### 1) Case E-3(수심 : 16.5m)

진입 항로 수심 16.5m일 때의 , Squat 계산 결과는 다음과 같았다.

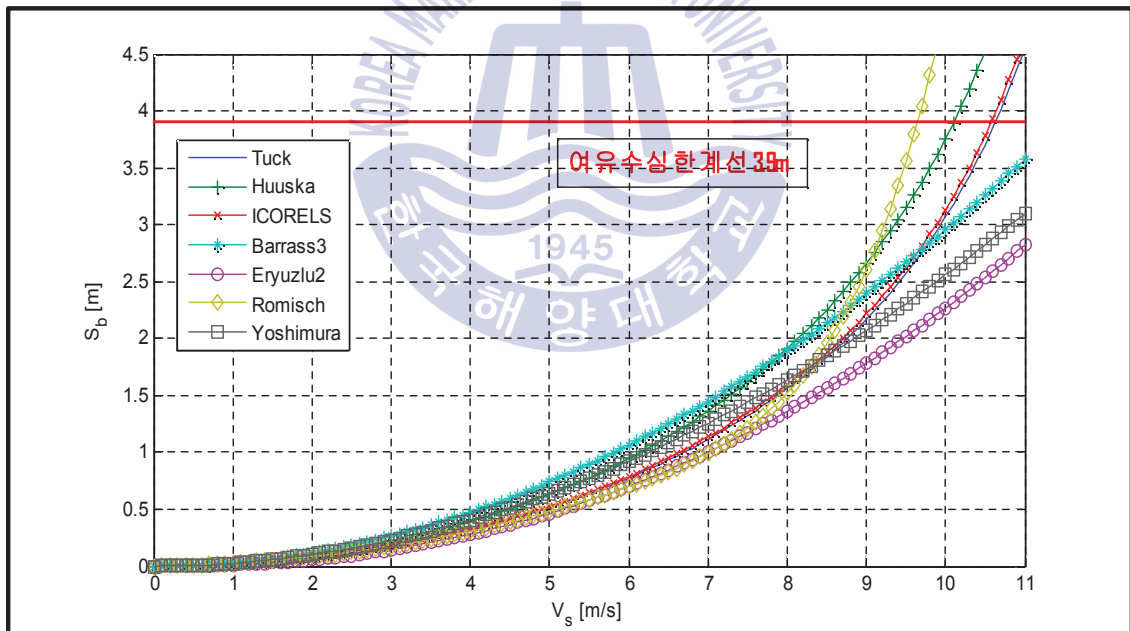


Fig. 4.30 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 16.5m)

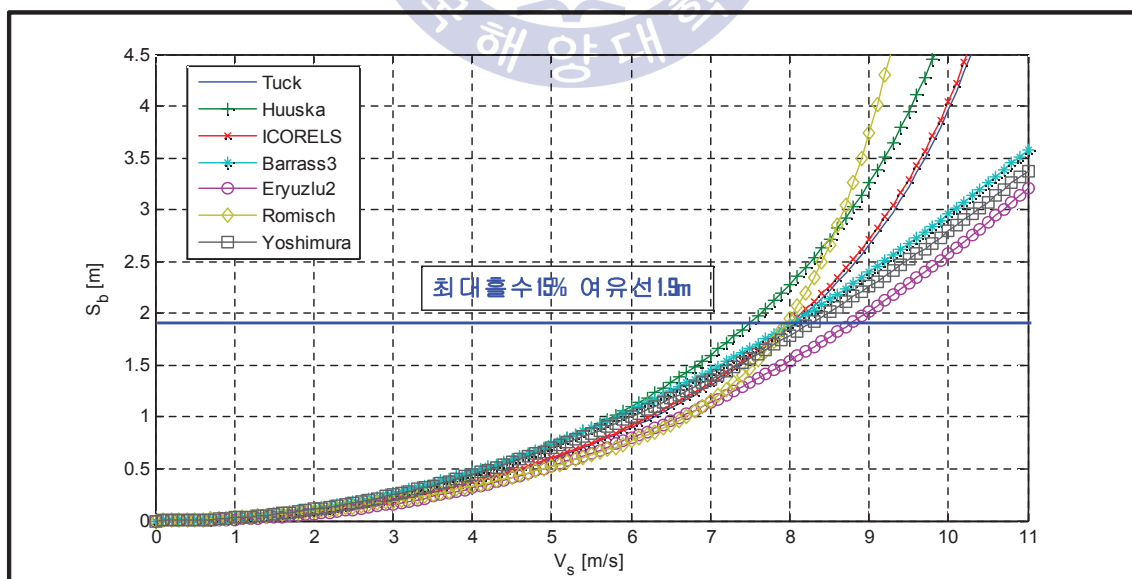
**Table. 4.34** 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(m), 평균해수면(수심 16.5m)

	선속별 선수 선체침하량(m)									
선속(m/s)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	10.8
선속(kts)	3.9	5.8	7.8	9.7	11.7	13.6	15.6	17.5	19.4	21.0
Tuck	0.10	0.23	0.41	0.64	0.92	1.25	1.64	2.07	2.56	4.18
Huuska	0.09	0.22	0.39	0.63	0.95	1.36	1.91	2.66	3.76	5.12
ICORELS	0.08	0.18	0.33	0.53	0.79	1.14	1.59	2.22	3.13	4.27
Barrass	0.12	0.27	0.47	0.74	1.06	1.45	1.89	2.40	2.96	3.45
Römisch	0.09	0.18	0.31	0.48	0.70	1.00	1.52	2.61	4.93	8.40
Yoshimura	0.10	0.23	0.41	0.64	0.92	1.25	1.64	2.07	2.56	2.99

항로의 최저 수심(11.9m)의 평균고조 높이(16.5m)때의 계산 결과, 대상 선박의 속력 8.0m/s(15.6kts)에서 Huuska의 공식이 1.91m로 가장 컸으며, Römisch 공식에서 1.52m으로 가장 작았다. 여유 수심 3.9m를 넘는 범위는 대상선박의 최대속력 10.8m/s(21.0kts)일 때, Tuck, Huuska, ICORELS, Römisch의 공식에서 넘는 것으로 나왔다. 특히 Römisch의 공식에서는 속력의 증가에 따라 큰 폭으로 Squat가 증가하였다.

## 2) Case E-4(최대흘수의 15%, 14.5m)

대상 선박의 흘수 15%의 수심에서 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.



**Fig. 4.31** 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 14.5m)



**Table. 4.35** 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(m), 최대흘수 15%(수심 14.5m)

	선속별 선수 선체침하량(m)									
선속(m/s)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	10.8
선속(kts)	3.9	5.8	7.8	9.7	11.7	13.6	15.6	17.5	19.4	21.0
Tuck	0.09	0.20	0.37	0.59	0.90	1.31	1.86	2.66	3.96	5.93
Huuska	0.11	0.25	0.45	0.73	1.10	1.60	2.28	3.26	4.85	7.26
ICORELS	0.09	0.20	0.37	0.61	0.92	1.33	1.90	2.72	4.04	6.05
Barrass	0.12	0.27	0.47	0.74	1.06	1.45	1.89	2.40	2.96	3.45
Römissh	0.09	0.19	0.33	0.52	0.77	1.15	1.95	3.74	7.64	13.47
Yoshimura	0.11	0.25	0.45	0.70	1.00	1.37	1.79	2.26	2.79	3.26

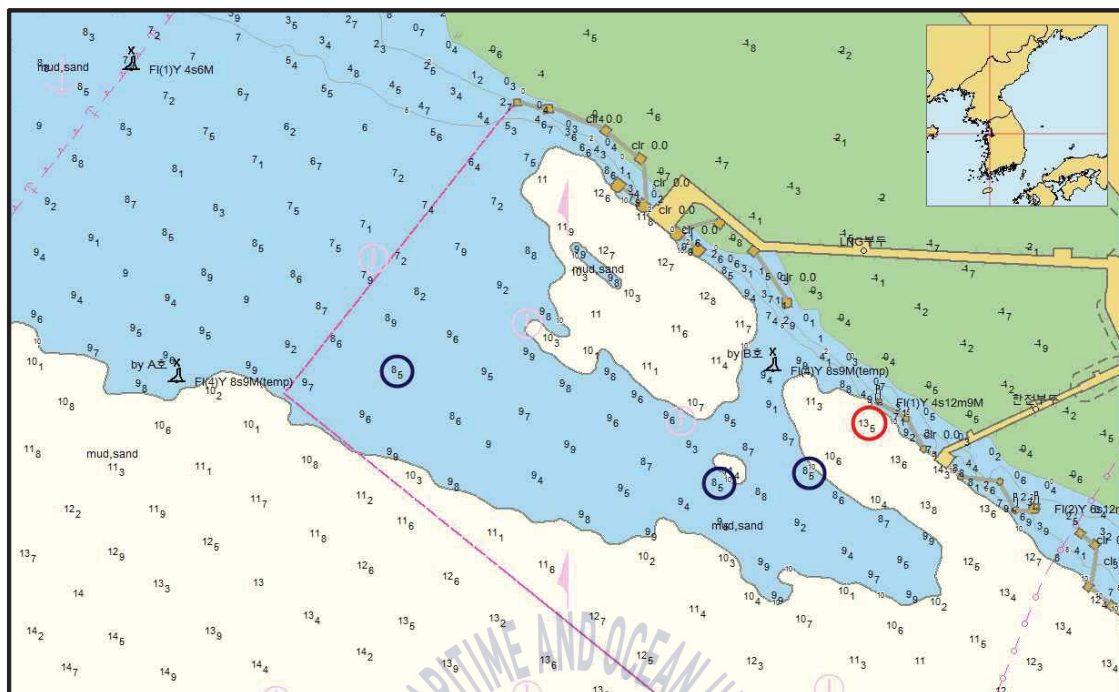
항로의 수심 기준인 최대 흘수 10%(수심 14.5m)로 계산한 결과, 대상 선박의 속력 8.0m/s(15.6kts)에서 Huuska의 공식이 2.28m로 가장 컸으며, ICORELS 공식에서 1.90m으로 가장 작았다. 여유수심 1.9m를 초과하는 경우는 대부분의 공식에서 8.0m/s(15.6kts)를 전후로 넘어서는 범위였다. 안전 UKC를 고려했을 때는 일부 공식에서는 7.0m/s(13.6kts)의 속력에서도 초과하는 것으로 나왔다.

#### 4.2.6. 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선(평택항)

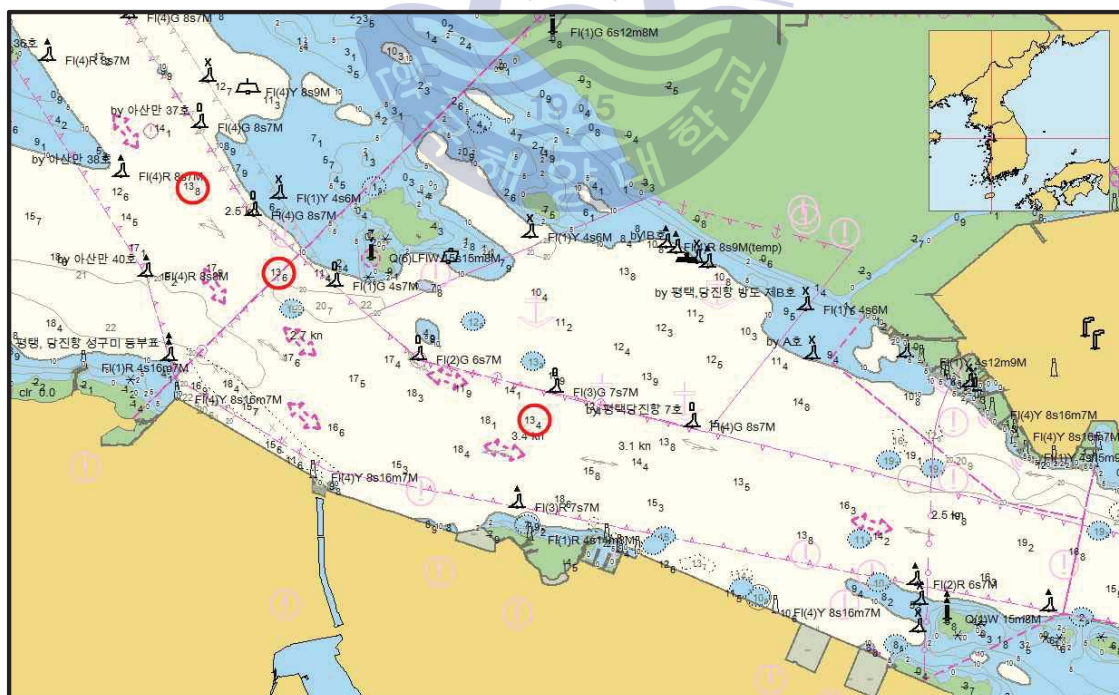
평택항을 입출항하는 선박 중 가장 큰 선박은 LNG선이다. 평택항의 LNG부두는 부두앞 전면 수심이 13.6m이다. 부두 부근에 최저 수심은 8.5m이다. LNG부두로 입항하는 항로 상의 최저 수심은 13.4m이다.

대상선박의 최대 흘수가 12.6m이므로 항내 항로의 Squat 계산은 평균고조위의 수심일 때, 선속에 따른 Squat 값을 계산하였다. 속력의 범위는 항내에서는 대상 선박의 Dead slow ahead 속력인 5.5knots부터 Full ahead 속력인 12.5kts가 표시될 수 있도록 m/s 단위를 사용하여 2~7m/s로 계산하였다. 접근 항로에서는 속력의 범위를 최대속력인 10.8m/s까지 하여 2~10.8m/s로, 최저 수심의 기본수준면, 평균해수면의 수심에서 계산하였다. 항내 및 항만의 기준인 최대흘수 대비 10, 15%의 수심은 “4.2.5 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선(인천항)”과 동일하여 여기서는 생략했다.

평택항의 LNG부두 및 항로 수심을 계산하기 위하여 아래의 Fig. 4.4와 4.5의 위치의 수심 값을 참조하였다.



**Fig. 4.32** 평택항 LNG부두의 항만 배치 및 수심(자료출처 : 국립해양조사원)



**Fig. 4.33** 평택항 LNG부두 항로 배치 및 Squat 계산 수심(자료출처 : 국립해양조사원)

평택항 부근의 조석정보는 Table 4.36와 같다.

**Table. 4.36** 평택항의 조석 정보(출처 : 국립해양조사원)

대조승	7.61m	소조승	5.627m
평균해면	4.139m	평균고조위	6.613m

평택항 LNG부두에 입항하는 최대 크기의 선박인 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선에 대한 Squat 값 계산의 조건을 정리하면 다음의 표와 같다.

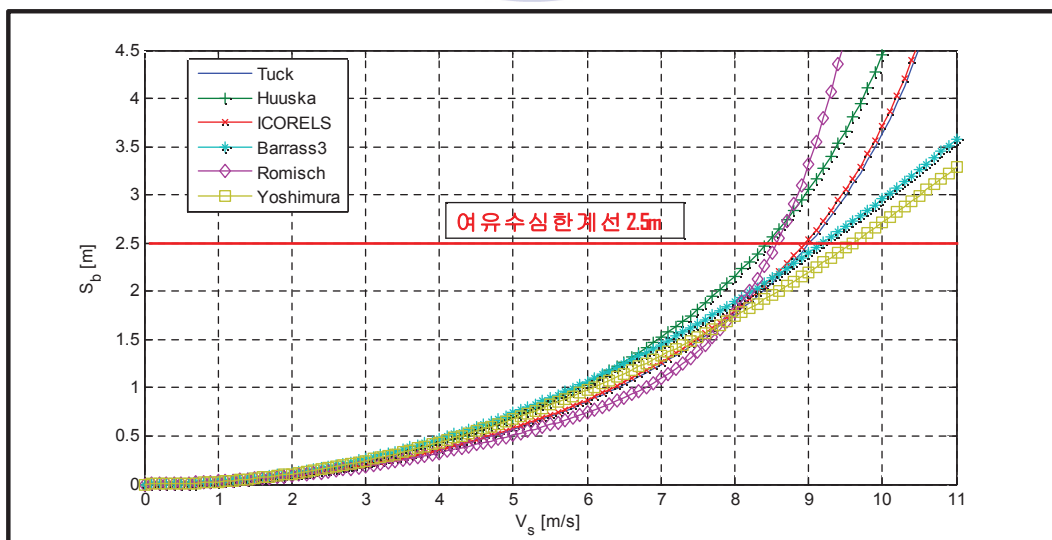
**Table. 4.37** 평택항 대상선박 Squat 계산 조건

시나리오 번호	수심조건	대상선박 속도범위	Remark
Case F-1	15.1m(평균고조위 수심) -해도상 최저 수심 8.5m	2~7m/s (3.9~13.6 knots)	항내 항로
Case F-2	13.4m(기본수준면 수심)	2~11m/s (3.9~21.4knots)	접근 항로

#### 4.2.6.1 항내 항로 계산

##### 1) Case F-1(수심 : 15.1m)

항내 항로 수심 15.1m일 때의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.



**Fig. 4.34** 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 15.1m)

**Table. 4.38** 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat, 평균해수면(수심 15.1m)

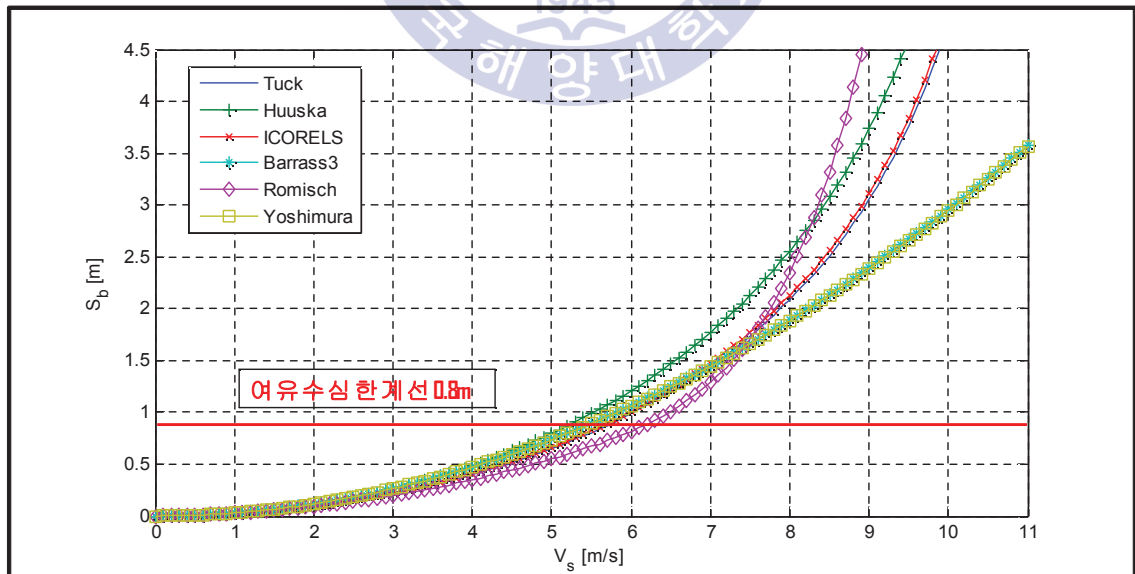
	선속별 선수 선체침하량(m)									
선속(m/s)	2.0	2.8	3.0	4.0	4.1	5.0	5.4	6.0	6.4	7.0
선속(kts)	3.9	5.4	5.8	7.8	8.0	9.7	10.5	11.7	12.4	13.6
Tuck	0.08	0.17	0.19	0.35	0.37	0.57	0.67	0.86	1.00	1.24
Huuska	0.10	0.20	0.24	0.43	0.45	0.70	0.83	1.05	1.22	1.52
ICORELS	0.09	0.17	0.20	0.36	0.38	0.58	0.69	0.87	1.02	1.27
Barrass	0.12	0.23	0.27	0.47	0.50	0.74	0.86	1.06	1.21	1.45
Römisch	0.09	0.16	0.19	0.33	0.34	0.51	0.60	0.74	0.86	1.10
Yoshimura	0.11	0.21	0.24	0.43	0.46	0.68	0.79	0.98	1.11	1.33

평택항의 최저 수심(8.5m)의 평균고조위 수심(15.1m)에서는 대상 선박의 Full ahead 속력인 6.4m/s(12.4kts)에서 Huuska의 공식이 1.22m로 가장 컸으며, Römisch 공식에서 0.86m으로 가장 작았다. 모든 Squat 공식이 대상선박의 Full ahead 속력인 12.4kts에서 여유수심 2.5m이하였다.

#### 4.2.6.2 접근 항로 계산

##### 1) Case F-2(수심 : 13.4m)

접근 항로 수심 13.4m에서의 Squat 계산 결과는 다음과 같았다.



**Fig. 4.35** 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(수심 : 13.4m)

**Table. 4.39** 150,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선의 선수 Squat(m), 기본수준면(수심 13.4m)

	선속별 선수 선체침하량(m)									
선속(m/s)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	10.8
선속(kts)	3.9	5.8	7.8	9.7	11.7	13.6	15.6	17.5	19.4	21.0
Tuck	0.09	0.22	0.40	0.65	0.99	1.44	2.09	3.05	4.77	8.11
Huuska	0.12	0.27	0.49	0.79	1.21	1.77	2.55	3.74	5.84	9.93
ICORELS	0.10	0.22	0.41	0.66	1.01	1.47	2.13	3.12	4.87	8.28
Barrass	0.12	0.27	0.47	0.74	1.06	1.45	1.89	2.40	2.96	3.45
Römisch	0.09	0.20	0.35	0.55	0.82	1.29	2.34	4.80	10.15	18.12
Yoshimura	0.12	0.27	0.47	0.74	1.06	1.44	1.89	2.39	2.95	3.44

항로의 최저 수심(13.4m)의 기본수준면 때의 계산결과, 대상 선박의 속력 8.0m/s(15.6kts)에서 Huuska의 공식이 2.55m로 가장 컸으며, Barrass와 Yoshimura 공식에서 1.89m으로 가장 작았다. 여유 수심 0.8m를 넘는 범위는 대상선박이 6.0m/s(11.7kts)의 속력에서 모든 공식에서 나타났다. 또한 안전 여유수심 0.5m를 고려한 0.3m을 넘는 범위 역시 모든 공식에서 4.0m/s(7.8kts)에 속력 이상에서는 안전 여유수심을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 최저 수심 구역에서는 기본수준면 일 때 Dead slow ahead 이하의 Engine 속력만을 사용해야지 안전 여유 수심을 확보하는 것으로 계산 결과가 도출되었다.

## 4.3 종합분석

### 4.3.1. 항만 설계기준과 현행 국내항만 수심 분석

2장에서 살펴본 국내 항만 설계기준의 수심 기준 “매립 제1장 수역시설 1-2 항로 1-2-4 항로 수심”은 항내에서 대상선박의 최대흘수 10% 이상의 여유수심, 스웰이 없는 접근 항로에서는 최대흘수의 15% 이상의 여유수심을 가지도록 규정되어 있다. 이에 2장 및 4장에서 조사된 국내 6곳의 항만의 현재 및 예상 준설 수심을 고려한 항내 항로와 접근 항로 수심을 비교해보면 Table. 4.40 및 Table 4.41과 같다.



**Table. 4.40** 항만 설계기준의 항내 항로 수심과 현재 국내항만의 항내 항로 수심 비교결과

항만	수심		대상선박 흘수	최대흘수 10%	기준 만족 여부	Remark
부산항	기본수준면	17m	16m	17.6m	불만족	0.7m 부족
	평균해수면	17.95			만족	
	평균고조면	18.5m			만족	
여수	기본수준면	22m	21m	23.2m	불만족	1.2m 부족
	평균해수면	23.8m			만족	
	평균고조면	24.8m			만족	
광양	기본수준면	21.5m	21.3m	23.4m	불만족	0.2m 부족
	평균해수면	23.4m			만족	
	평균고조면	24.5m			만족	
인천	기본수준면	12.8m	12.6m	13.9m	불만족	1.1m 부족
	평균해수면	17.4m			만족	
	평균고조면	20.3m			만족	
평택	기본수준면	8.5m	12.6m	13.9m	불만족	5.4m부족
	평균해수면	12.6m			불만족	1.3m부족
	평균고조면	15.1m			만족	

**Table. 4.41** 항만 설계기준의 접근 항로 수심과 현재 국내항만의 접근 항로 수심 비교결과

항만	항로 수심		대상선박 흘수	최대흘수 15%	기준 만족 여부	Remark
부산항	기본수준면	16m	16m	18.4m	불만족	2.4m 부족
	평균해수면	16.95			만족	
	평균고조면	17.5m			만족	
울산	기본수준면	25m	21m	24.15m	만족	
	평균해수면	25.3m			만족	
	평균고조면	25.45m			만족	
여수	기본수준면	22m	21m	24.15m	불만족	2.15m부족
	평균해수면	23.8m			불만족	0.35m부족
	평균고조면	24.8m			만족	
광양	기본수준면	20.6m	21.3m	24.5m	불만족	3.9m부족
	평균해수면	22.5m			불만족	2.0m부족
	평균고조면	23.6m			불만족	0.9m부족
인천	기본수준면	11.9m	12.6m	13.9m	불만족	1.1m 부족
	평균해수면	16.5m			만족	
	평균고조면	19.4m			만족	
평택	기본수준면	13.4m	12.6m	13.9m	불만족	0.5m부족
	평균해수면	17.5m			만족	
	평균고조면	20m			만족	

항내 항로 수심의 기준에 6곳의 모든 항만이 기본수준면(기본수준면)의 수심에서는 항만 설계 기준을 부합하지 못하였다. 특히 평택항의 경우는 평균고조높이에서만 기준을 통과하는 것으로 분석되었다.

접근 항로 수심의 기준은 울산만이 기본수준면(기본수준면)에서도 만족을 하였고 다른 5곳은 항내수심과 마찬가지로 기본수준면에서는 기준을 만족하지 않는 것으로 분석되었고, 특히 광양의 경우 300,000 DWT 급 벌크선의 흘수 대비 15%의 기준을 평균고조높이에서도 만족하지 않는 결과를 보였다.

#### 4.3.2. Squat 계산 결과 분석

“4.2장 선박의 Squat 계산”에서 6곳 항만의 분석한 시나리오별 계산 결과는 다음과 같았다.

Table. 4.42 시나리오별 계산 결과

시나리오 번호	대상 항만	구분	수심 조건	만족 여부
Case A-1	부산	항내	17m	8.6kts 이하에서 만족
Case A-2			17.95m(평균해수면 수심)	15.6kts 이하에서 만족
Case A-3			18.5m(평균고조높이 수심)	17.5kts 이하에서 만족
Case A-4			17.6m	13.2kts 이하에서 만족
Case A-5		항로	17.5m(평균고조높이 수심)	13.2kts 이하에서 만족
Case A-6			18.4m	17.5kts 이하에서 만족
Case B-1	울산	항로	23.5m(기본수준면 수심)	15.6kts 이하에서 만족
Case B-2			24.15m	만족
Case C-1	여수	항내	22.8m(평균해수면 수심)	12.6kts 이하에서 만족
Case C-2			23.2m	15.6kts 이하에서 만족
Case C-3		항로	22m(기본수준면 수심)	7.8kts 이하에서 만족
Case C-4			23.8m(평균해수면 수심)	16.7kts 이하에서 만족
Case C-5			24.15m	만족
Case D-1	광양	항내	23.4m(평균해수면 수심)	만족
Case D-2		항로	22.4m(평균해수면 수심)	8.9kts 이하에서 만족
Case D-3			24.5m	만족
Case E-1	인천	항내	17.2m(평균해수면 수심)	만족
Case E-2			13.9m	10.5kts 이하에서 만족
Case E-3		항로	16.5m(평균고조높이 수심)	21.0kts 이하에서 만족
Case E-4			14.5m	13.6kts 이하에서 만족
Case F-1	평택	항내	15.1m(평균고조높이 수심)	만족
Case F-2		항로	13.4m(기본수준면 수심)	7.8kts 이하에서 만족

### (1) 부산항

- ① 항내 항로 수심 : 준설 수심 17m의 경우, 설계수심기준(최대흘수 10%)도 만족 못하지만 대상선박이 Slow ahead 8.6kts 이하의 속력에서만 최소의 안전 UKC(0.5m)를 만족하는 것으로 나타났다.

수심기준인 최대흘수의 10%의 수심인 17.6m에서도 최소한의 안전 UKC를 만족하기 위해서는 대상선박의 Half ahead 속력인 13.2kts 이하에서만 만족하는 것으로 나타났다.

- ② 접근 항로 수심 : 항로의 최저 수심은 16m로 대상선박의 최대흘수와 같았다. 최소한의 안전 수심을 지키기에도 부족한 수심이었고, 수심기준인 최대흘수의 15%의 수심인 18.4m의 수심에서 분석한 결과 최소한의 안전 UKC를 확보하기 위해서는 17.5kts로 대상선박의 Full ahead 속력보다 낮은 속력이었다.

항로에서 대상선박의 원활한 통항을 위한 Full ahead 속력을 내었을 경우에는 Squat 공식들이 평균값으로 2.54m가 필요로 했으며, 이에 최소 안전 UKC 0.5m를 고려했을 때는 최대흘수 대비 3m인 19m의 수심이 필요했으며 이는 최대흘수 대비 약 19%였다.

### (2) 울산항

- ① 접근 항로 수심 : 울산항의 최저 수심은 23.5m로 대상선박의 흘수 대비 2.5m 깊었다. 이를 넘는 범위는 대상선박의 최대 속력 16.7kts였고 안전 UKC를 고려해도 15.6kts 이상이었다.

항로 수심 기준인 24.15m에서는 최대속력 이상의 속력에서도 충분한 UKC를 확보하였다.

### (3) 여수항

- ① 항내 항로 수심 : 최저수심에서의 입항은 불가능하였으며 조석을 감안한 평균해수면 22.8m에서의 결과 대상선박의 Full ahead 속력인 12.6kts 이상에서는 안전 UKC를 확보하지 못하는 것으로 나왔다.

수심기준인 최대흘수의 10%의 수심인 23.2m에서도 최소한의 안전 UKC를 만족하기 위해서는 15.6kts 이하에서 만족하는 것으로 나타났다.

안전 UKC를 확보하면서 통항하기 위해서는 고조시에 입항해야 하는 것으로 결과가 나왔다.

- ② 접근 항로 수심 : 항로 역시 최저 수심(22m)의 입항은 불가능하며 고조시 높이에서 통항이 가능하였다. 최대흘수 대비 15%인 24.15m에서 최대 속력인 16.7kts 이하에서 안전 UKC를 확보할 수 있었다.

#### (4) 광양항

- ① 항내 항로 수심 : 광양항의 경우 항내 최저수심 21.5m이고, 대상선박인 300,000 DWT급 벌크선의 최대흘수 21.3m이기 때문에 기본수준면에서의 통항은 매우 위험하며, 조석을 이용한 평균해면의 수심 23.4m(최대흘수의 10%)에서 분석해 보면 최대 속력 12.4kts에서도 여유 수심 2.1m를 충족하는 것으로 분석되었다.

- ② 접근 항로 수심 : 항로 최저수심 20.6m의 평균해수면 수심 22.4m의 분석결과는 여유수심인 1.1m를 초과하는 속력은 11.7kts였고, 안전 UKC 0.5m를 초과하는 범위는 대상선박의 Half ahead 속력인 8.9kts였다.

항로의 수심 기준인 최대흘수 15%를 적용한 24.15m의 수심에서 분석한 결과 여유 수심 1.85m를 초과하는 속력은 최대속력인 16.7kts였으며, 안전 UKC 0.5m를 초과한 속력은 15.6kts였다.

광양항의 경우도 여수항과 같이 고조시에 입항하여야지만 대상선박이 안전하게 통항할 수 있는 것으로 분석되었다.

#### (5) 인천항, 평택항

- ① 항내 항로 수심 : 항내 수심 기준인 최대흘수 10%의 수심인 13.9m로 Squat 계산값을 분석한 결과 여유수심 1.3m를 초과하는 속력은 13.6kts였으며, 안전 UKC 0.5m를 초과하는 속력은 대상선박의 Half ahead 속력인 10.5kts였다.

- ② 접근 항로 수심 : 항로의 수심 기준인 최대흘수 15%를 적용한 14.5m의 수심에서 분석한 결과 여유수심 1.9m를 초과하는 속력은 17.5kts였으며, 안전 UKC 0.5m를 초과하는 속력은 13.6kts였다. 이 속력은 대상선박의 Full ahead 속력보다는 높은 값이었으므로, 통상적인 LNG선의 항로 속력이 15kts 이상인 경우도 다수 있기 때문에 이 결과로는 13.6kts 이하의 속력에서만 통항을 해야 한다는 결과가 나왔다.

인천항과 평택항의 대상선박인 LNG선이 통상적인 항로 속력인 15-16kts의 속력으로 안전하게 통항하기 위해서는 공식들의 평균값 1.94m에 안전 수심 0.5m를 합한 약 2.4m인 19m의 수심이 요구되며, 이는 최대흘수 대비 약 19%였다.

## 제 5 장 결론

전세계적으로 해운 경기가 불황인 상황 속에서도 대형선박의 건조는 꾸준히 늘어나고 있다. 특히 대형 컨테이너선이 증가하고 있는데 2016년 말 기준 18,000 TEU급 컨테이너 이상의 선박이 35척이지만 건조 중이거나 건조 계획 중인 선박인 2019년 말에는 109척으로 늘어날 예정이다.<sup>10)</sup> 그리고 예전부터 대형 탱커(VLCC, ULCC), 대형 벌크선들이 늘어나고 있으며, LNG선 역시 그 크기가 커지고 있다. 이런 선박들의 국내 항만의 입출항 역시 늘어나고 있다.

부산항의 경우는 18,000 TEU급 컨테이너의 원활한 입출항을 위해 항내 수심을 17m로 준설하고 있다. 이러한 현실과 변화 속에 대형화된 선박들이 국내 항만을 입출항을 할 때 안전한 UKC를 확보하여 통항을 할 수 있는지에 대한 고찰이 이 연구의 배경이 되었다.

또한, UKC에 국내 항만 설계기준을 조사하고 국외 항만 설계기준을 비교하여 그 차이점 파악하고, 여유수심에 대한 국제적인 기준의 변화에 대해 파악할 필요가 있고 이를 통해 UKC와 Squat에 대한 개념정리 및 정의에 대한 정확한 이해와 정립이 요구되었다.

본 연구에서는 이러한 배경과 함께 연구목적, 연구방법 그리고 선행연구를 제 1장에서 제시하였다.

그리고 제2장에서는 국내외 항만 설계 기준에 따른 항로 수심의 기준을 조사하였고, 국내 주요 무역 항구인 부산항, 울산항, 여수항, 광양항, 인천항 그리고 평택항을 선정하여 항만의 수심현황을 조사하였다. 추가적으로 여유 수심 부족에 의한 좌초사고에 대해 검토해 보았다.

제3장에서는 UKC의 고려사항으로 UKC 부족에 의한 사고 사례와, UKC 구성요소를 조사하였고, 이 중 가장 큰 영향을 미치는 Squat 주요 이론을 정리하였다.

제4장에서는 앞의 조사와 더불어 국내항만에 입항하는 최대선박의 제원을 조사하고 이를 바탕으로 Squat 계산을 진행하였다. 그리고 국내 항만 설계기준과 Squat 계산 결과로 국내 항만의 여유수심 적절성에 대하여 분석, 평가하였다.

위와 같은 연구 수행을 통해 다음과 같은 분석 결과를 도출하였다.

첫째, 국내 항만 설계기준의 항로 수심 기준(항내 최대흘수의 10% 이상의 여유수심, 접근 항로 최대흘수의 15% 이상의 여유수심)이 대체적으로 만족하지 않음을 알 수 있었다. 해도에 기재된 기본수준면의 수심은 모든 항만에서 항내뿐 아니라 접근 항로에서 만족하지 못하였으며, 조석을 감안했을 때도 광양항의 경우는 국내 항로 수심기준을 만족하지 못하였다.

10) ALPHALINER(The worldwide reference in liner shipping), 2006.1



둘째, 국내 항만 설계기준의 항로 수심 기준과 선석 수심 기준이 불일치함을 알 수 있었다. 선석 수심 기준에서도 최대흘수와 UKC를 고려하여 기준으로 정하였으나 그 구체적인 값은 차이 나서 부산항의 경우, 대상선박이 최대흘수 10%인 17.6m와 다른 18.5m의 기준을 정함으로써 대상선박의 최대흘수의 약 15.6%의 기준을 제시하고 있었다.

그리고 선석 수심 기준에서도 만족하는 항만은 광양항 원료부두를 제외하고는 5곳의 항만이 부합되지 않음을 알 수 있었다.

셋째, Squat의 계산 분석 결과 항만 설계 기준을 적용했을 때도 최소한의 안전한 UKC 0.5m를 확보하지 못하는 항만이 있는 것으로 나타났다. 부산항의 경우 접근 항로에서 대상선박의 원활한 통항을 위한 Full ahead 속력을 내었을 경우에는 Squat 공식들이 평균값으로 2.54m가 필요로 했으며, 이에 최소 안전 UKC 0.5m를 고려했을 때는 최대흘수 대비 3m인 19m의 수심이 필요했으며 이는 최대흘수 대비 약 19%였다. 그리고 이 연구에서 다루지 않았던 기상상태가 안 좋을 경우나 선박의 회두 및 동요에 의한 Heel 증가가 되었을 경우에는 추가적인 여유수심을 확보해야 하므로 국내 항로 수심의 기준에 대한 검토가 필요한 것으로 사료되었다.

각 항만별로 살펴보면, 부산항의 경우 기본수준면의 수심일 때, 여유수심을 확보하기 위해서는 항내 항로의 경우 대상선박의 Slow ahead 속력인 8.6kts이하의 속력에서 통항해야 한다는 결과가 도출되었다. 접근 항로의 경우 최저 수심 16m에서는 대상선박의 최대흘수와 같아 통항에 위험이 있으므로 조석을 감안한 17.5m(평균해수면)에서의 계산결과, 대상선박의 Half ahead 속력 13.2kts이상에서 역시 위험을 내포하고 있었다. 접근 항로의 수심 기준인 최대흘수 15%를 적용한 18.4m의 수심에서 분석한 결과 17.5kts를 넘으면 위험한 것으로 나타났다.

울산항의 경우, 최저 수심 23.5m 선박의 속력 15.6kts 이상에서는 안전한 통항하는 것으로 나타났다.

여수항의 경우 항내 최저 수심은 21m로 대상선박인 300,000 DWT급 탱커선의 최대흘수와 동일하였다. 이에 조석을 감안한 평균해수면의 수심 22.8m에서 Squat를 분석한 결과 여유수심(수심과 흘수 차이) 1.8m를 초과하는 경우는 15.6kts의 속력이었고 안전 UKC를 고려하였을 때는 대상선박의 Full ahead 속력인 12.6kts 이상에서는 초과하는 것으로 나타났다. 이는 여수항에서는 고조시에 입항하여야지만 조종속력 범위 내에서도 안전 통항을 할 수 있다는 결론이 도출되었다. 항내 항로 수심 기준 최대흘수 10%인 23.2m의 수심에서의 여유수심을 초과하는 범위는 대상선박의 최대속력인 16.7kts의 속력이었고 안전 UKC를 고려했을 때는 15.6kts 이상의 속력이었다. 대상선박의 안전한 통항을 위해서는 고조시에 입항을 하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

광양항의 경우 항내 최저수심 21.5m이고, 대상선박인 300,000 DWT급 벌크선의 최대흘수 21.3m이기 때문에 기본수준면에서의 통항은 매우 위험하며, 조석을 이용한 평균해면의 수심 23.5m(최대흘수의 10%)에서 분석해 보면 최대 속력 12.4kts에서도 여유 수심 2.2m를 충족하는 것으로 분석되었다. 접근 항로 최저수심 20.6m의 평균해수면 수심 22.4m의 분석결과는 여유수

심인 1.1m를 초과하는 속력은 11.7kts였고, 안전 UKC 0.5m를 초과하는 범위는 대상선박의 Half ahead 속력인 8.9kts였다. 항로의 수심 기준인 최대흘수 15%를 적용한 24.15m의 수심에서 분석한 결과 여유 수심 1.85m를 초과하는 속력은 최대속력인 16.7kts였으며, 안전 UKC 0.5m를 초과한 속력은 15.6kts였다. 광양항의 경우도 여수항과 같이 고조시에 입항하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

인천항은 조수간만의 차가 큰 서해안에 위치한 항구여서, 항내(12.8m) 및 항로(11.9m)의 수심이 대상선박 최대흘수(12.6m) 보다 비슷하거나 낮았다. 항내 항로 수심 기준인 최대흘수 10%의 수심인 13.9m로 Squat 계산값을 분석한 결과 여유수심 1.3m를 초과하는 속력은 13.6kts였으며, 안전 UKC 0.5m를 초과하는 속력은 대상선박의 Half ahead 속력인 10.5kts였다. 접근 항로의 수심 기준인 최대흘수 15%를 적용한 14.5m의 수심에서 분석한 결과 여유수심 1.9m를 초과하는 속력은 17.5kts였으며, 안전 UKC 0.5m를 초과하는 속력은 13.6kts였다. 이 속력은 대상선박의 Full ahead 속력보다는 높은 값이었으며, 통상적인 LNG선의 항로 속력이 15kts 이상인 경우도 다수 있기 때문에 이 결과로는 13.6kts 이하의 속력에서만 통항을 해야 한다는 결과가 나왔다.

평택항은 특히 항내의 수심이 낮아 10m이하인 곳이 넓게 퍼져 있으며, 최소 수심은 8.5m이었다. 항로의 최저 수심도 13.6m로 상대적으로 낮았다. 대상 선박이 인천항과 같으므로 최대흘수 대비 항내 및 항로 수심의 결과는 같았다. 평택항은 고조시에만 입항이 가능하고, 출항 역시 고조시에만 가능한 것으로 분석되었다.

분석결과를 토대로 국내 항만에서 안전한 통항을 위한 적정 여유 수심(UKC)을 확보하기 위해서는 우선적으로 최소한 현재의 항만 설계기준에서 정한 항내 항로와 접근 항로 수심을 기준에 부합하게 준설할 필요가 있다. 이때의 준설은 기본수준면을 기준으로 하여 최대흘수의 10%, 15%의 수심을 확보해야 한다는 것이다. 물론 준설이 많은 비용이 드는 것은 사실이지만 선박통항이 고조시에만 가능함으로써 선박이 지불하는 비용 역시 고려하지 않을 수 없다. 그리고 무엇보다도 안전을 위해서는 조석의 유무에 상관없이 입항이 가능한 항만을 만드는 게 경쟁력 있는 항만이 될 것이다.

두 번째로, 국내 항만의 항로 수심 기준에 대한 재검토가 필요하다. 일본의 항만 기술기준에 부합하여 맞추었지만, 획일적인 최대흘수의 10%, 15%가 아닌 일본의 경우처럼 입항할 것으로 생각되는 특정한 선박의 재원, 조종특성 등을 고려한 기준 설정이나 그렇지 않으면 국제적으로 많은 신뢰도를 가진 PIANC의 기준처럼 수심에 UKC 요소를 모두 고려한 Guide Line을 설정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

현실적으로 국내 항만 기준을 새롭게 정립하기 위해서는 상당한 시간이 소요될 것으로 판단된다. 그래서 단기간의 해결책으로는 현행 일부 항만에서 적용되는 항만내의 선속 제한 규정이나, 입출항 시점의 제한을 둌으로써 항내 및 항로의 통항 안전성을 확보해야 한다.

부산신항의 경우, 항내에서는 부산항 북항처럼 속력제한의 규정을 두고, 여수, 광양, 인천 및

평택 역시 기존의 고조시 입항을 항만 고시 등으로 명문화하여 제정함으로써 안전통항을 위한 노력을 재고해야 한다.

본 연구에서는 여유 수심에 대한 선체침하 이론을 바탕으로 하였기에 선회에 인한 홀수의 증가 및 선박 상호간 상호작용에 의한 List 발생에 의한 홀수 증가 등의 여러 요소에 대한 정확한 계산 대신 안전 UKC 0.5m를 일괄 적용한 한계가 있지만 국내 항만의 항내, 항로의 여유 수심에 대해 Squat 이론을 계산하여 접근하고 이를 바탕으로 효율적이고 안전한 통항을 개선 사항을 발견하는데 의의가 있다고 판단된다.

향후 연구로는 모든 UKC 요소들을 분석하여 종합적으로 계산할 필요가 있으며, 실제 선박에서의 선저 여유 수심 변화를 측정함으로써 실측자료와 이론식의 비교를 통해 좀 더 체계적인 여유 수심에 대한 안전성 확보에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.



## 참고문헌

- [1] 해양수산부, 2014. 항만 및 어항 설계기준·해설
- [2] 신현경, 최시훈, 2011. 전산유체역학을 이용한 제한수로에서의 선박 침하 해석
- [3] 김영국, 박성우, 박노준, 2011. Ship Squat현상 및 추정식의 비교
- [4] 윤종석, 김대영, 신현경, 2012. A Study of Ship Squat in Confined Water Using KCS
- [5] 박현주, 전인식, 2011, 국내 항만진입 항로에서의 현행 입항허용 기준에 대한 대안
- [6] 윤근항, 박병재, 여동진, 2014, KCS 선형의 천수영역에서의 자세 변화에 대한 실험적 연구
- [7] Sven Dunker 외, Analysis and Comparison of SHIPS Derived Squat
- [8] Brian Morse, Stephanie Michaud, Andre Taschereau, Rock Santerre, 2004, Ship squat in shallow and confined channels - The Canadian experience
- [9] C.B. Barrass, 2004, Ship Design and Performance for Masters and Mates
- [10] Michael J.Briggs, Stephen T. Maunord, Charles R. Nickles and Terry N. Waller, 2004, Charleston Harbor Ship Motion Data Collection and Squat Analysis
- [11] C.B. Barrass, 2004, Ship Squat and Queen Mary 2
- [12] PIANC, 2014. Harbour approach channels design guidelines
- [13] U.S. army corps of engineer, CERC, 1984. Shore protection manual
- [14] U.S. army corps of engineer, CERC, 2001. Coastal engineering manual
- [15] The overseas coastal area developemnt institute of japan, 2014. Technical stanards and commentaries ofr port and harbour facilities in japan

[16] Marine Accident Investigation Branch, 1993, Report of the Investigation into the Grounding of Passenger Vessel Queen Elizabeth 2

[17] Australian transport safety bureau, 2006, ATSB TRANSPORT SAFETY INVESTIGATION REPORT NO.223

